

4 Werkstoffvarianten

Das im Bild 6 dargestellte Abstreiferprofil V18_9 wurde mit einem Polyether-Urethan (P5001) ausgelegt, hergestellt und bzgl. Normalkraft, Reibung, Schmierstoffaustrag und Schmutzeintrag untersucht. Dieser im Folgenden Abstreifer 44 genannte Abstreifer zeigte dabei deutlich bessere Ergebnisse als alle zuvor untersuchten handelsüblichen Abstreiferprofile, /24/. Die durchgeführte Untersuchungsreihe soll klären, ob sich die Geometrie des Abstreiferprofils V18_9 auch für andere Werkstoffe verwenden lässt bzw. die Tauglichkeit verschiedener Werkstoffe mit verschiedenen Härten, für den Einsatz als Abstreiferprofil prüfen.

Für den Abstreifer V18_9 wurden zwei Spritzgießformen angefertigt und die Dichtung mit insgesamt 5 unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt:

- Form 1: Abstreifer 27 (96 ShA), Abstreifer 30 (95 ShA).
- Form 2: Abstreifer 44 (93 ShA), Abstreifer 45 (90 ShA), Abstreifer 46 (60 ShD)

Die Abstreifer 27, 30, 45 und 46 wurden nach derselben Methode wie der Abstreifer 44 untersucht, um sie miteinander vergleichen zu können.

4.1 Konturenvergleich

Von den verschiedenen Abstreifervarianten wurden jeweils 10 Profilschnitte angefertigt. Die Schnitte wurden in gleichen Abständen längs einer Abstreiferleiste herausgeschnitten. Bild 38 zeigt diese Schnitte im direkten Vergleich mit dem grau hinterlegten Sollprofil.

Bei den Abstreifern 27 und 30 zeigt der Vergleich der Profilschnitte mit der Sollkontur über die gesamte Länge gleichmäßige, relativ große Abweichungen an den Dichtlippen, die bis zu 0,4 mm betragen. Die Kanten der Dichtlippen weisen große Radien auf. Der Vergleich der Profilschnitte der Abstreifer 44, 45 und 46 mit der Sollkontur zeigt zwar auch bei allen drei Varianten Abweichungen an den schmutzabstreifenden Dichtlippen, die Kanten der Dichtlippen sind aber ausreichend gut ausgeformt.

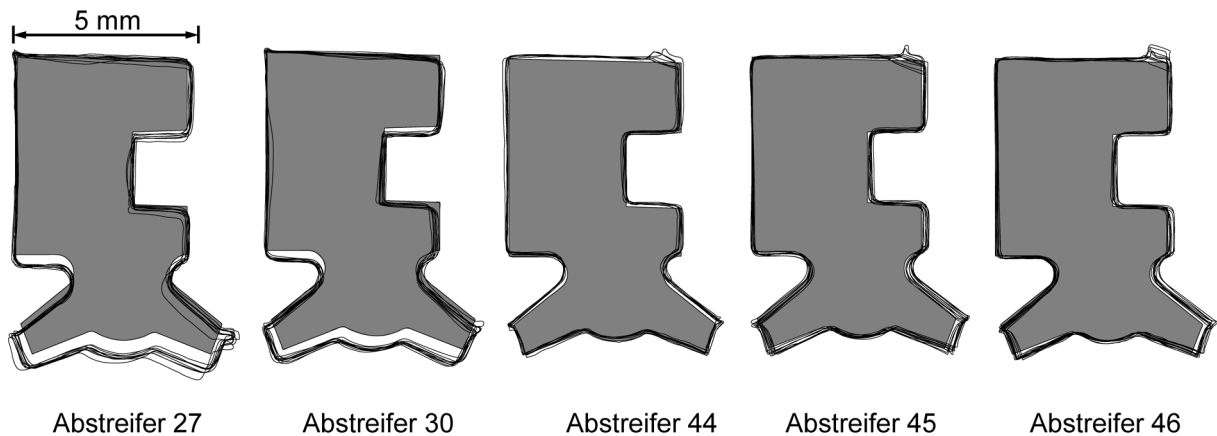


Bild 38: Konturenvergleich Abstreiferprofil V18_9

4.2 Vorspannweg- Normalkraftmessung (statisch)

Mit der in Bild 39 dargestellten Messung wurde der Zusammenhang zwischen Vorspannweg und Vorspannkraft ermittelt. Dazu wurde die Normalkraft wegabhängig aufgezeichnet. Die Länge der untersuchten Abstreifer betrug 300 mm. Die gemessenen Normalkräfte sind auf diese 300 mm zu beziehen.

Die im Bild 39 aufgetragenen Kurven verlaufen nicht durch den Nullpunkt, da die Abstreifer zu Beginn der Messung so weit vorgespannt wurden, bis zwischen Dichtlippe und abzustreifender Oberfläche auf der gesamten Länge kein Lichtspalt mehr zu sehen war. Deshalb musste bei allen Abstreifern bis zur erstmaligen, vollständigen Anlage der Dichtlippe eine von 0 N verschiedene Normalkraft aufgebracht werden. Bei den doppellippigen Abstreifern entspricht der Vorspannweg 0 mm dem erstmaligen, vollständigen Anliegen einer der beiden Dichtlippen.

Trotz verschiedener Werkstoffe und Fertigungsgenauigkeiten der Abstreifer-Querschnitte zeigen die Abstreifer 27, 30, 44, 45 und 46 einen ähnlichen Normalkraft-Vorspannweg-Verlauf. Mit zunehmendem Vorspannweg werden die Dichtlippen durch Biegung vorgespannt. Die Normalkräfte steigen bis zur Anlage der Abstützung nahezu linear an. Bei anliegender Abstützung wird mit weiter zunehmendem Vorspannweg der Dichtungskörper gestaucht und die Normalkräfte steigen entsprechend steiler an.

Im Wesentlichen decken sich bei der Untersuchung die Höhe der Normalkraft mit der Härte des Werkstoffes. So befinden sich die Kurven der Abstreifer 27 und 46 erwartungsgemäß im oberen Bereich. Abstreifer 44 liegt im Mittelfeld, der weichere Abstreifer 45 darunter. Auffällig dagegen die sehr geringe Normalkraft des Abstreifers 30. Die Kurve des Abstreifers 30 sollte sich von der Härte im unmittelbaren Bereich der anderen Kurven befinden, liegt aber deutlich darunter. Auch in der Hand gehalten fühlt sich der mit 95 ShA harte Abstreifer 30 eher weich und samtartig an.

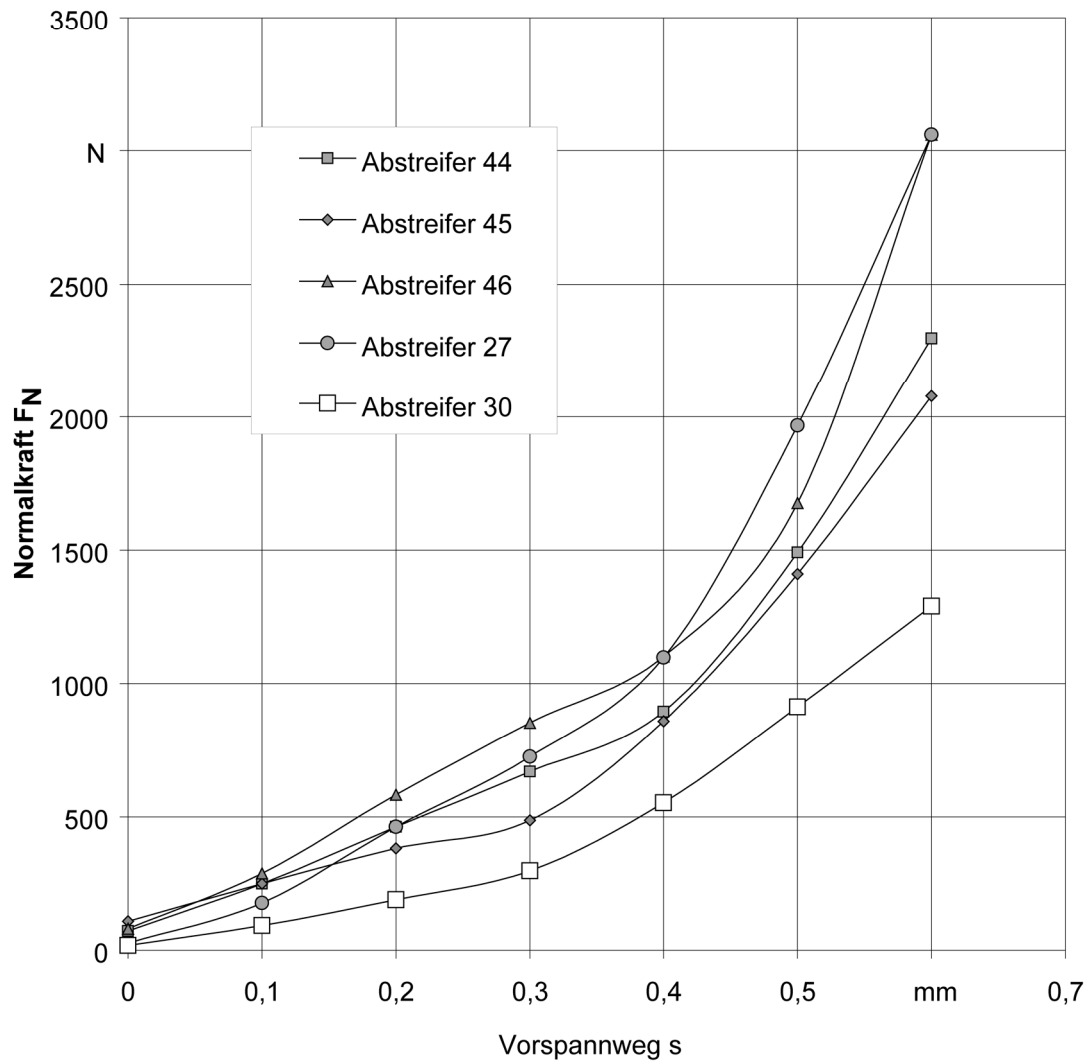


Bild 39: Vorspannweg Normalkraftmessung Abstreifer V18_9, Abstreiferlänge 300 mm

4.3 Reib und Normalkraftmessungen

Die Messung der Reib- und Normalkräfte gibt nicht nur Auskunft über deren Größe, sie zeigt auch die Abhängigkeit der Kräfte von Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit. Aus diesen Messungen können wichtige Aussagen zu Profilstabilität und Stick-Slip abgeleitet werden. Insbesondere durch die Analyse der Normalkräfte können sich verstimmende Dichtlippen, eine der Ursachen instabiler Abstreifer, aufgedeckt werden.

4.3.1 Trockenreibung- und Normalkraftmessung

Die Trockenreibungs-Untersuchungen zeigen die Tauglichkeit der Abstreifer bei sehr schlechten Schmierungsbedingungen, wie sie nur in Ausnahmefällen an realen Werkzeugmaschinen-Führungen vorkommen sollten. Solche Bedingungen können aber beispielsweise bei der Trockenbearbeitung in Werkzeugmaschinen herrschen. Die Länge der untersuchten Abstreifer betrug 300 mm. Die gemessenen Normalkräfte sind auf diese 300 mm zu beziehen.

Von den vier untersuchten Abstreifern war der Abstreifer 30 bei Trockenreibung völlig instabil. Durch die Reibkräfte wurde die schmierstoffabstreifende Dichlippe des Abstreifers umgestülpt und hat dann den ganzen Dichtungskörper mit sich gezogen.

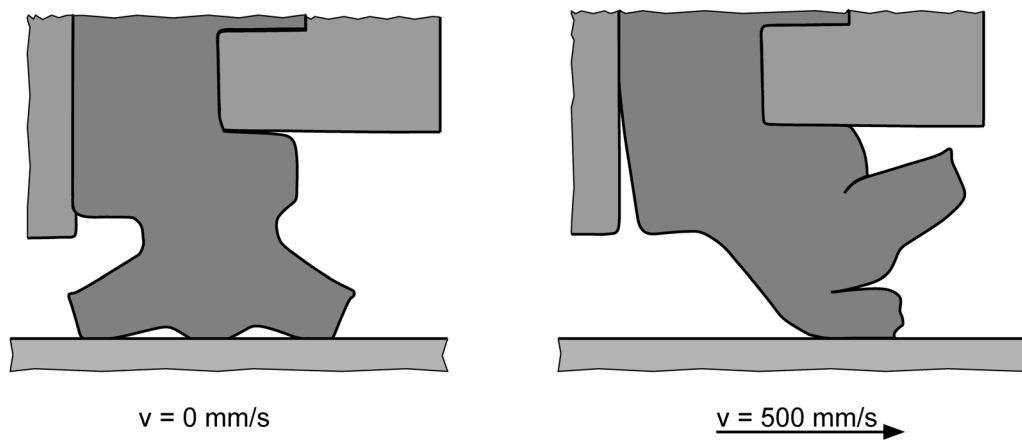


Bild 40: Abstreifer 30, ungeschmiert

In Bild 40 ist dieses Verhalten beispielhaft für die Solleinbauposition des Abstreifers dargestellt. Der Abstreifer klappte hier bereits bei einer Geschwindigkeit von 500 mm/s beim ersten schmierstoffabstreifenden Hub um. Der Grund dafür ist der Werkstoff. Das Material neigt verstärkt zur Adhäsion.

Die anderen untersuchten Abstreifer durchliefen die Trockenreibungs und Normalkraftmessung ohne Auffälligkeiten. Der Verlauf der Reib- und Normalkraft über Geschwindigkeit und Vorspannweg zeigte bei allen untersuchten Varianten das gleiche Bild. Lediglich die Größe der Kräfte ist unterschiedlich. Stellvertretend für Trockenreibungs-Untersuchungen werden hier die Ergebnisse der Abstreifer 44 und 46 gegenübergestellt.

Bild 41 dokumentiert die gleichmäßige, von der Bewegungsrichtung nahezu unabhängige Normalkraft im Vorspannweg-Bereich bis 0,4 mm. Darüber liegt die Abstützung an und erzeugt eine erhebliche Zunahme der Normalkraft, zumindest bei der schmutzabstreifenden Bewegung ($0 \text{ mm/s} < v < 1500 \text{ mm/s}$). Daraus folgt eine Erhöhung der Reibkraft. Hier zeigt sich, dass die Einsatzgrenzen (Vorspannweg = max. 0,4 mm), um möglichst geringe Reibung zu erhalten, eingehalten werden müssen.

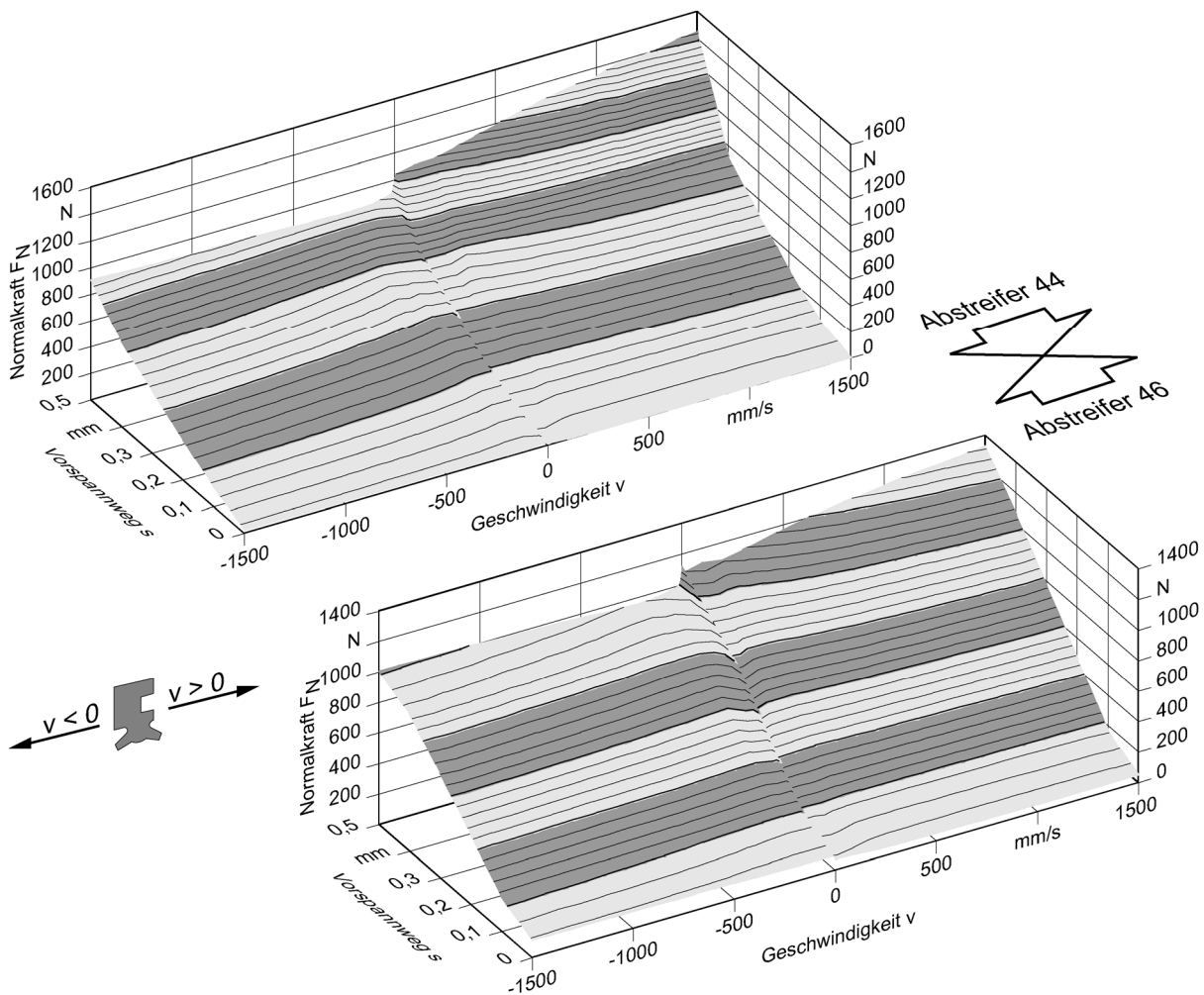


Bild 41: Normalkraft trocken, Abstreiferlänge 300 mm

Die Reibkraft des Abstreiferprofils hängt ab von Vorspannweg und Geschwindigkeit. Die Bewegungsrichtung hat fast keinen Einfluss. Die regelmäßigen Messwert-Oberflächen im Bild 42 spiegeln die grundsätzlich stabilen Reibungsverhältnisse des Abstreiferprofils V18_9 wider. Bis auf den Abstreifer 30 wurde bei den Abstreiferleisten im gesamten Geschwindigkeitsbereich keinerlei Instabilitäten der Dichtlippen oder Reibschwingungen (Stick-Slip) festgestellt.

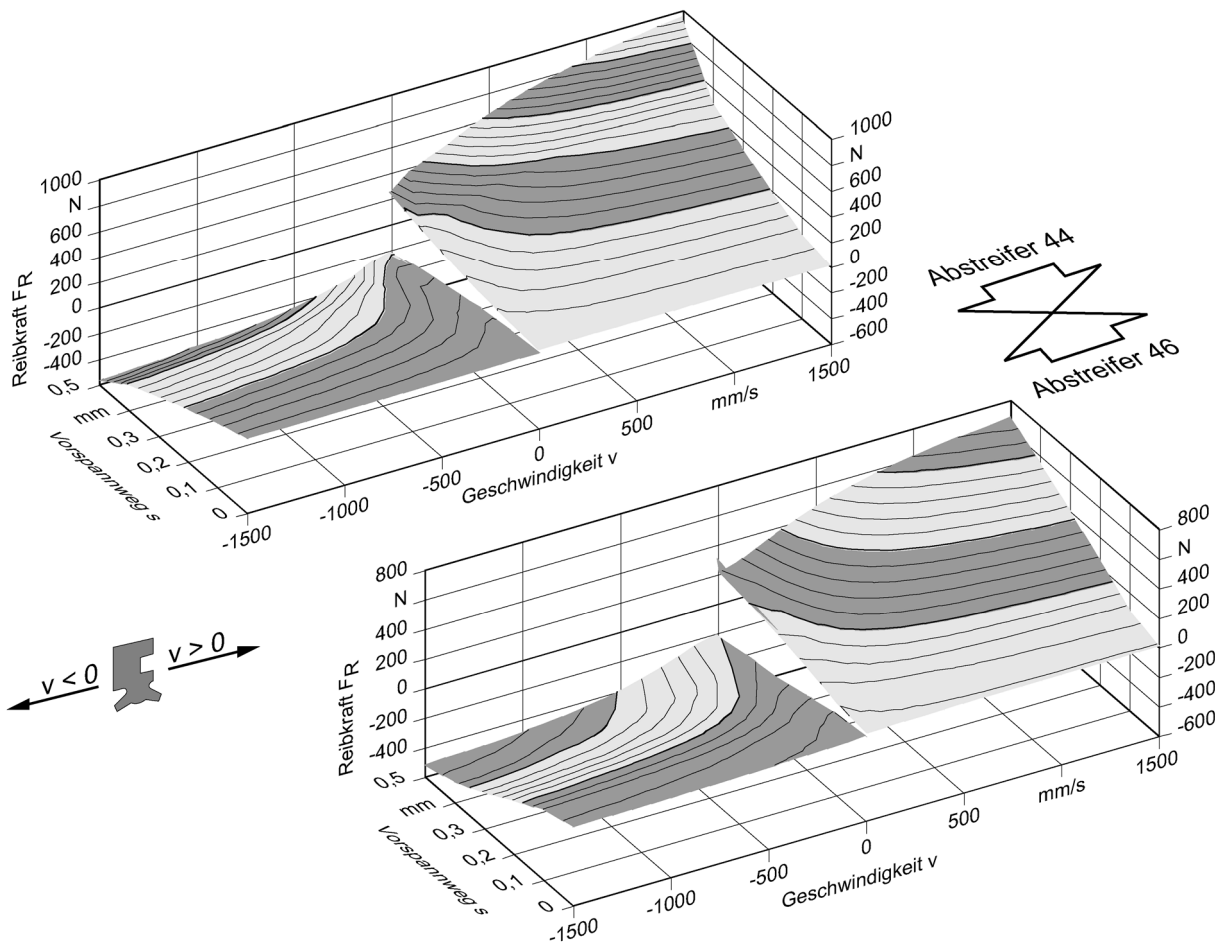


Bild 42: Reibkraft trocken, Abstreiferlänge 300 mm

4.3.2 Nassreibung- und Normalkraftmessung

Die Nassreibung-Untersuchungen sollen die realen Gegebenheiten in Werkzeugmaschinen nachstellen. Für die Führung bestehen tribologisch günstige Bedingungen. Im Vergleich zur Trockenreibung waren die Reibkräfte erwartungsgemäß kleiner, da die abzustreifende Gegenfläche geschmiert wurde. Durch die geringere Reibung verstemmten sich die Dichtlippen weniger und die Änderung der Normalkraft durch die angreifende Reibung waren dementsprechend geringer. Wie erwartet, traten bei Nassreibung bei allen der untersuchten Abstreifervarianten nahezu keine reibkraftbedingten Verzerrungen auf. Auch der bei Trockenreibung instabile Abstreifer 30 zeigte hier keine Schwächen.

Der Verlauf der Reib- und Normalkraft über Geschwindigkeit und Vorspannweg zeigte bei allen untersuchten Varianten des Abstreiferprofils V18_9 das gleiche Bild. Die Messungen unterscheiden sich lediglich in der Größe der Kräfte. Stellvertretend für Untersuchungen zur Nassreibung werden hier die Ergebnisse von Abstreifer 44 und Abstreifer 30 gegenübergestellt.

Das Bild 43 zeigt einen Normalkraft-Verlauf, der deutlich im Zusammenhang zum Vorspannweg steht und nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit ist. Daraus ist ersichtlich, dass keine der beiden Dichtlippen nennenswert verstemmt wird. Ab einen Vorspannweg von 0,4 mm liegt die Abstützung des Dichtprofils auf. Der Einfluss der Abstützung auf die Normalkraft ist aber deutlich geringer als bei den vorher gezeigten Untersuchungen zur Trockenreibung.

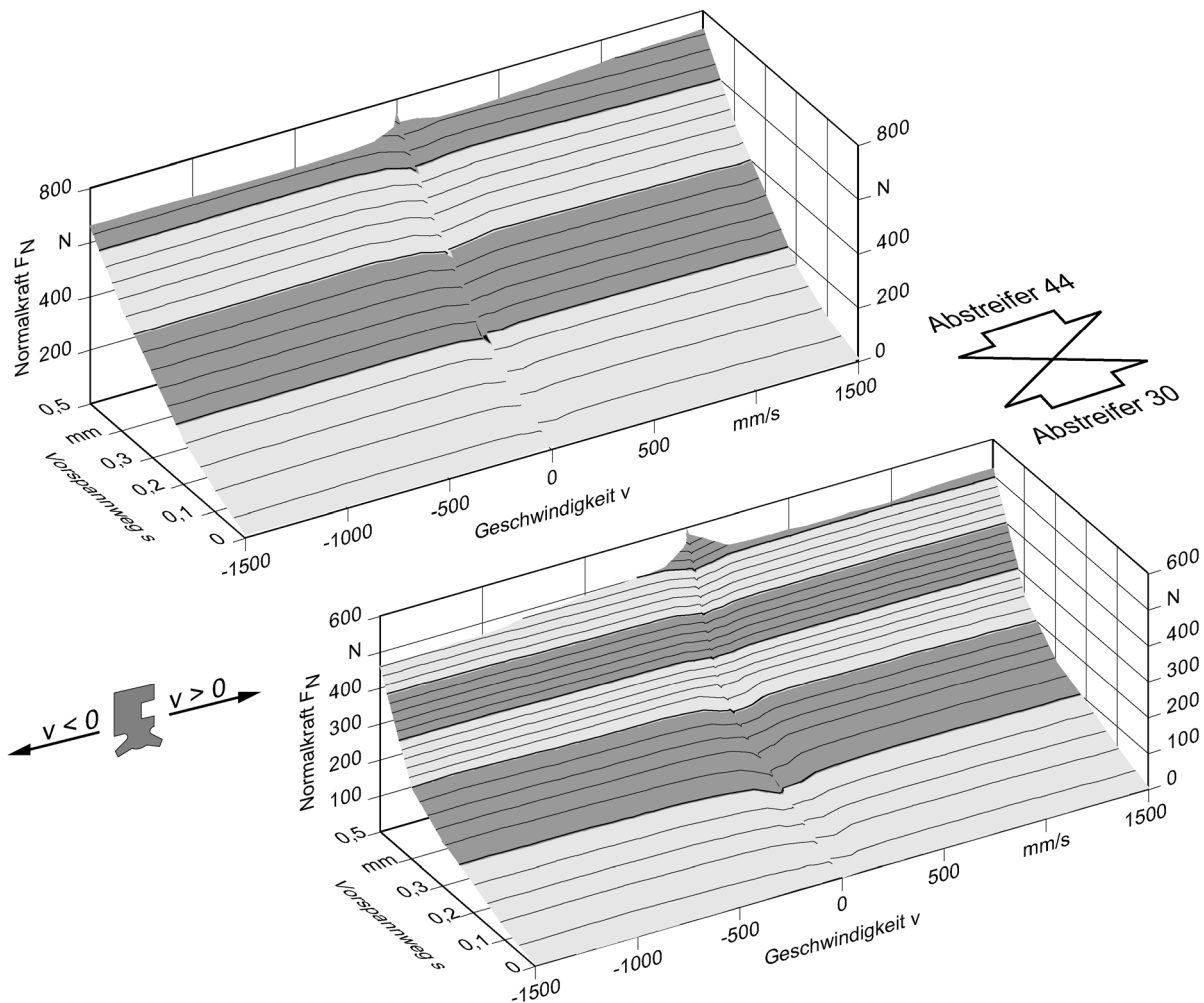


Bild 43: Normalkraft geschmiert Abstreiferlänge 300 mm

Die Reibung der Abstreifer hängt von der Geschwindigkeit ab, wie in Bild 44 zu sehen ist. Ausgehend von der Geschwindigkeit 0 mm/s nimmt die Reibung mit zunehmender Geschwindigkeit zuerst ab. Dann erreicht sie ein Minimum und nimmt schließlich wieder zu. Dieser Vorgang ergibt sich aus den Schmierungsverhältnissen. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten besteht Festkörperkontakt zwischen Dichtlippe und abzustreifender Fläche. Der Schmierfilm reicht nicht aus, um die Reibpartner zu trennen. Dementsprechend hoch ist die Reibung. Mit zunehmender Geschwindigkeit verbessern sich die Schmierungsverhältnisse. Die Reibpartner werden durch einen Schmierfilm vollständig voneinander getrennt und die Reibung erreicht ihr Minimum. Nimmt die Geschwindigkeit weiter zu, bestimmen schließlich die Zähigkeitskräfte im

Schmierfilm die Reibung. Mit zunehmender Schergeschwindigkeit nehmen die Zähigkeitskräfte zu und die Reibung steigt wieder an.

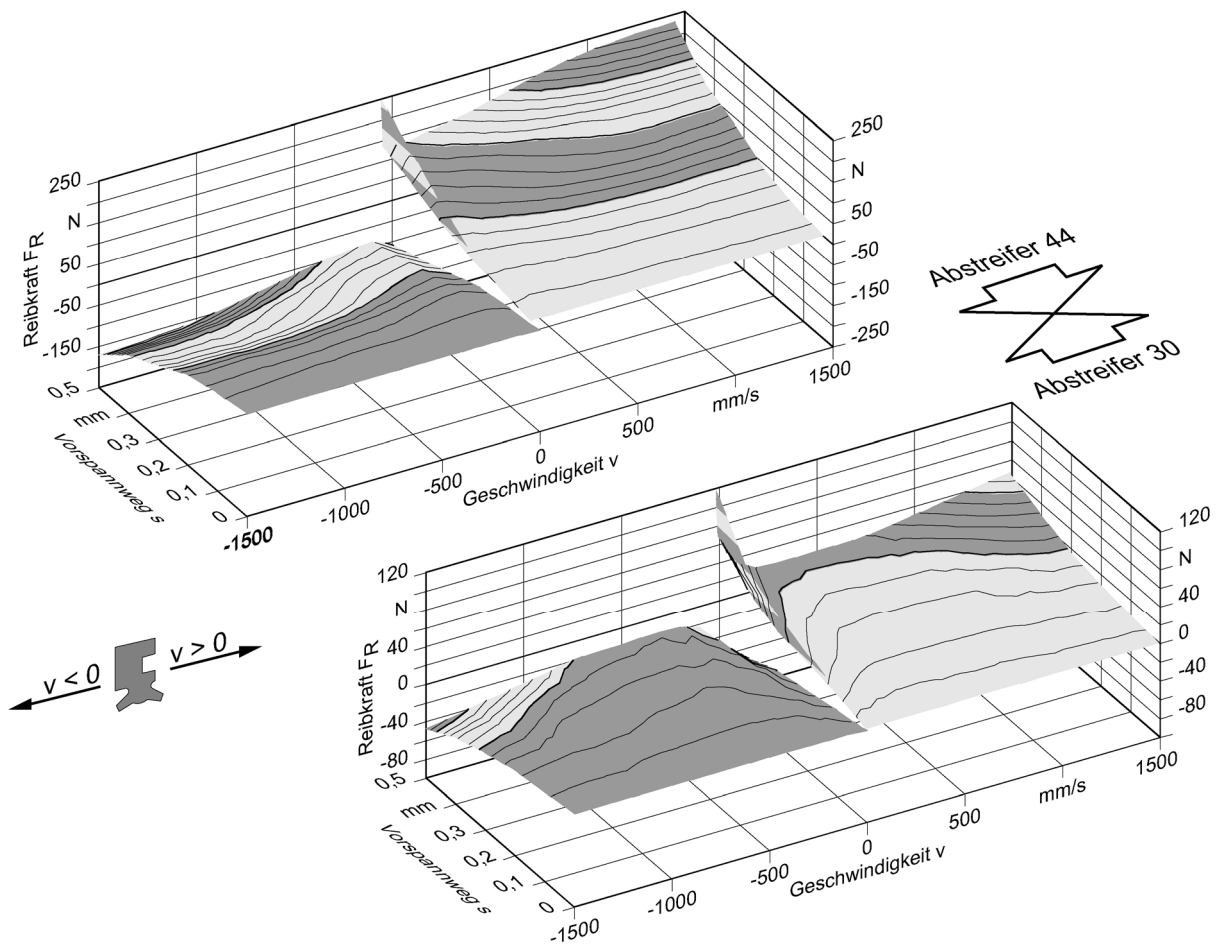


Bild 44: Reibkraft geschmiert, Abstreiferlänge 300 mm

Grundsätzlich zeigten alle fünf Varianten des Abstreiferprofils V18_9 bei Naßreibung Normalkräfte, die annähernd unabhängig sind von Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit. Die Reibkräfte entwickeln sich über Vorspannweg und Geschwindigkeit gleichmäßig. Die Abstreifer waren alle profilstabil.

4.4 Leckage

Um Kenntnisse über den Schmierstoff-Verlust zu erhalten, wurde bei den geschmiert durchgeführten Reibkraft- und Normalkraft-Messungen der außen abgelagerte Schmierstoff beurteilt. Die Versuchsdurchführung und die Leckage-Bewertung sind im Kapitel 3 beschrieben.

Die Abstreifer 44, 45 und 46 haben im gesamten Vorspannwegbereich nur sehr geringe Leckage. Abstreifer 27 zeigt im gesamten Vorspannwegbereich gute bis zufrieden-

stellende Dichteigenschaften. Die Leckage von Abstreifer 30 war bei den Vorspannweiten 0,1 mm und 0,2 mm gering, im Bereich darüber aber groß.

Tabelle 8: Beurteilung der Leckage

Vorspannweg [mm]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Abstreifer 27	---	++	+	+	0	/	/	/	/	/	/
Abstreifer 30	---	++	+	-	-	0	/	/	/	/	/
Abstreifer 44	---	++	++	++	++	++	/	/	/	/	/
Abstreifer 45	++	++	++	++	++	++	++	/	/	/	/
Abstreifer 46	--	++	++	++	++	/	/	/	/	/	/

Die allgemein geringe Leckage ist eindeutig auf die gute Dichtwirkung der schmierstoff-abstreifenden Dichtlippe zurückzuführen. Im Vergleich zu handelsüblichen Abstreifern, bei denen größtenteils ein deutlich sichtbarer und mit den Fingerkuppen fühlbarer Schmierfilm nach außen geschleppt wurde, siehe Bild 31, war beim Abstreifer V18_9 nahezu kein nach außen geschleppter Schmierfilm mehr feststellbar.

4.5 Abdichtung von Feststoffen

Die Führung gegen außenseitig anstehenden Fremdstoffen abzudichten, ist eine der Hauptaufgaben von Abstreifern. Der Abstreifer 44 hat hier bereits sehr gute Ergebnisse gezeigt. Maßgeblich beeinflusst werden diese Vorgänge durch die Kontaktbedingungen zwischen Dichtlippe und abzustreifender Gegenfläche. Die Beobachtung der Dichtlippen durch eine Glasplatte, wie im Bild 34 dargestellt, zeigt die Kontaktzonen unter den Dichtlippen und die dort stattfindenden Vorgänge. Stellvertretend für diese Versuchsreihe werden im Folgenden die Ergebnisse des Abstreifers 30 dem Abstreifer 44 gegenübergestellt.

Bild 45 zeigt den Abstreifer 30 in der Solleinbauposition. Der Vorspannweg beträgt ca. 0,44 mm. Die untere Bilderreihe zeigt den Abstreifer von unten durch die bewegte Glasplatte betrachtet. Die Kontaktzonen der Dichtlippen sind schraffiert dargestellt. Die schmierstoffabstreifende Dichtlippe wurde durch die im Betrieb angreifende Reibung stark verzerrt. Ihre Berührbreite wird auf etwa 0,5 - 0,8 mm geschätzt. Die Kontaktzone der schmierstoffabstreifenden Dichtlippe ist im Vergleich zum Abstreifer 44 sehr weit nach innen gerückt. Vor der Kontaktzonen hat sich ein Keilspalt gebildet. Der Abstreifer zeigt daher in der Solleinbauposition große Leckage. Die Berührbreite der schmutzabstreifenden Dichtlippe liegt bei 0,45 mm. Auch vor der Kontaktzone der schmutzabstreifenden Dichtlippe hat sich ein Keilspalt gebildet. Dennoch zeigte der Abstreifer 30 gute Versuchsergebnisse. Aus dem Verschmutzungsbild und den beiden

Vergrößerungen lässt sich erkennen, dass sich nur sehr wenige Partikel unter den Dichtlippen angesammelt haben. Zu der schmierstoffabstreifenden Dichtlippe gelangen nur einzelne Verschmutzungspartikel. Trotz der ungenügenden Profilstabilität zeigt die Dichtung ein gutes Abstreifverhalten gegenüber festen Fremdstoffen.

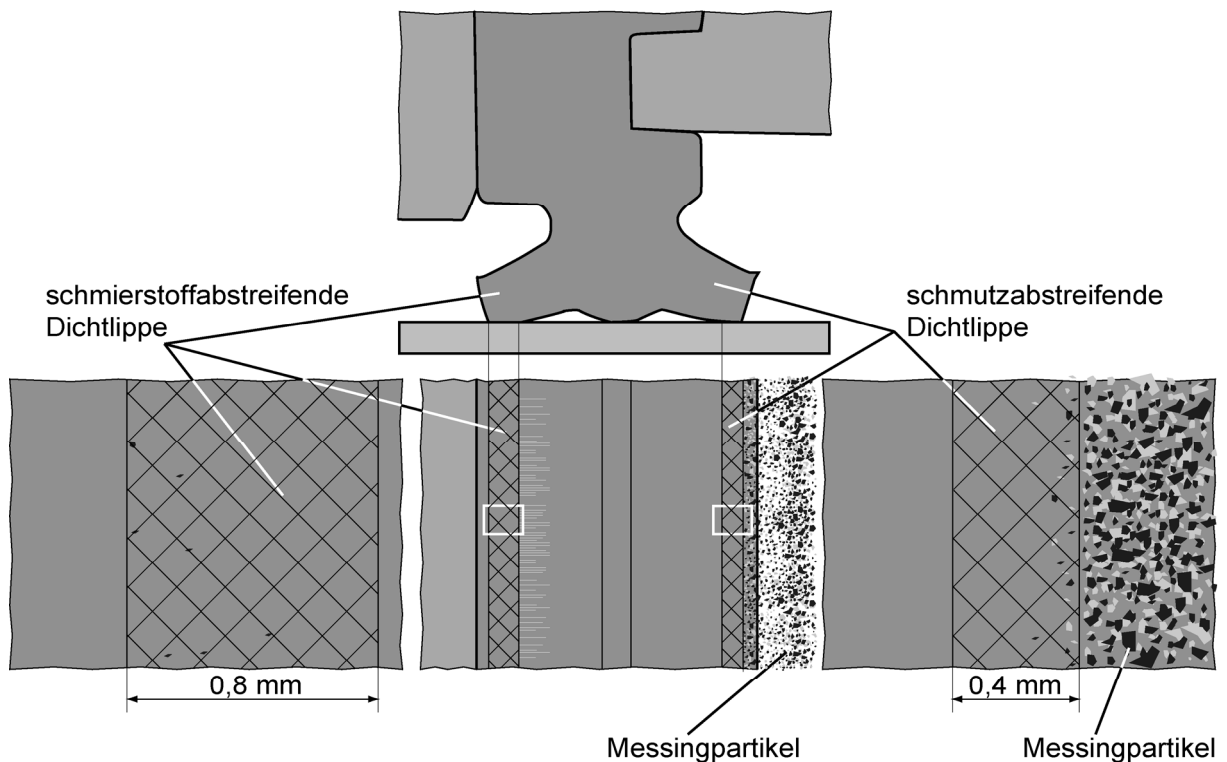


Bild 45: Verschmutzungsuntersuchung Abstreifer 30

Im Bild 46 oben wird der Abstreifer 44 in seiner Solleinbaulage dargestellt. Der Vorspannweg beträgt, wie schon bei den anderen Varianten, 0,44 mm. Durch die gute Oberflächen-Qualität der Dichtlippen liegt der Abstreifer gleichmäßig auf. Der Reibkraft-Angriff an der Dichtlippe führte zu keinen Walkbewegungen. Die untere Bildreihe zeigt das Profil bei Versuchsende, nach über 800 Hieben mit Partikelbeaufschlagung. Die Kontaktzonen der schmutz- und schmierstoffabstreifenden Dichtlippen lassen sich erkennen. Die Breiten betragen ca. 0,35 mm bei der schmierstoffabstreifenden und 0,35 mm bei der schmutzabstreifenden Dichtlippe. Die Berührflächen sind zur besseren Erkennbarkeit schraffiert. Beide Kontaktzonen liegen im äußeren Bereich der Dichtkanten. Keilspalte, die zur Schmutz- oder Schmierstoffseite geöffnet sind, lassen sich nicht feststellen. Lediglich an einer schadhaften Stelle der Dichtlippe wurden Partikel unter dem Abstreifer hindurchgeschleppt. Auch die Vergrößerung der beiden Dichtlippen verdeutlichen das sehr gute Abstreifergebnis der Dichtung.

Die hier nicht im Detail vorgestellten Abstreifer 27, 45 und 46 zeigten ebenfalls ein gutes Abstreifverhalten gegenüber festen Fremdstoffen. So ließen sich in den Kontaktzonen aller untersuchten Abstreifer mit der Profilform V18_9, wenn überhaupt, nur kleinste Partikel ausmachen.

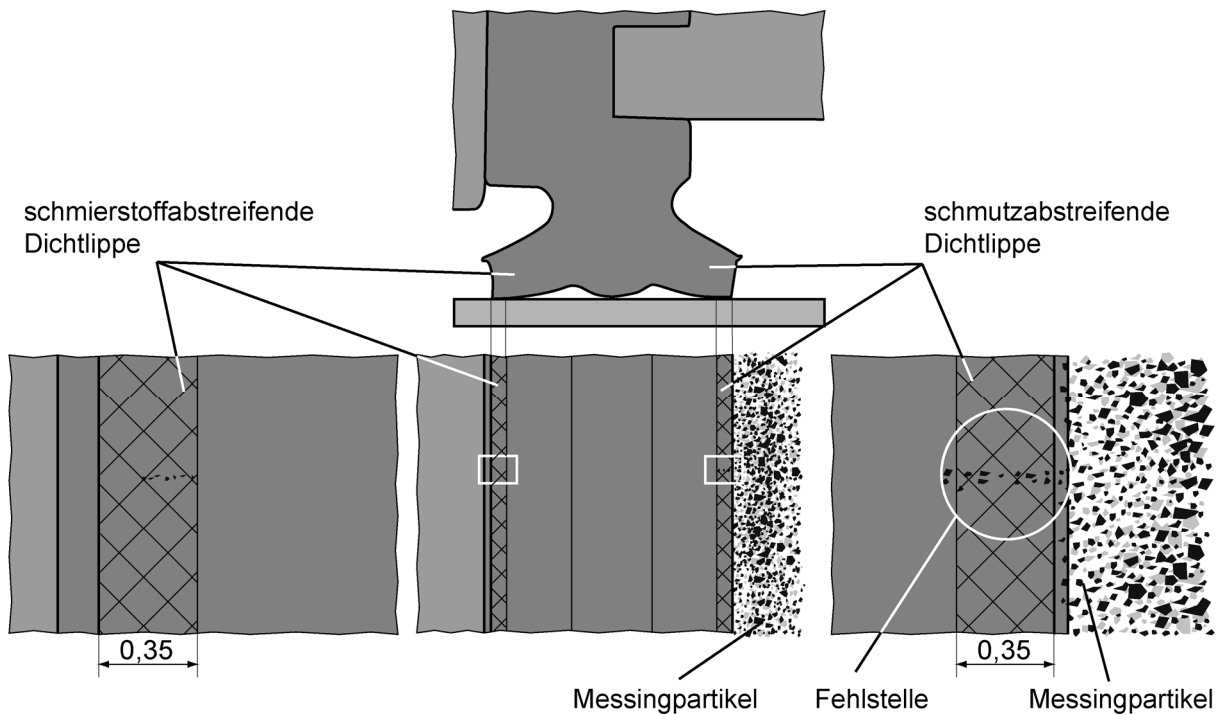


Bild 46: Verschmutzungsuntersuchung Abstreifer 44

4.6 Fazit der Untersuchungen zur Variation des Werkstoffes

Das Abstreiferprofil V18_9 funktioniert nicht nur mit dem zur Auslegung verwendeten Werkstoff P5001. Die ausgezeichneten Ergebnisse, dargestellt in /24/, die erzielt wurden, haben sich für andere Werkstoffe prinzipiell bestätigt. Bei einer sinnvollen Werkstoffauswahl kommt es bei den Reib- und Normalkraftverläufen nur zu geringer Variation der absoluten Kräfte. Reib- und Normalkraftverlauf ähneln sich immer sehr. Einflussreicher ist die Sorgfalt, mit der die Abstreifer gefertigt wurden. Umso besser die Dichtkanten der Abstreiferprofile ausgeformt waren desto besser waren die Ergebnisse bezüglich Leckage und Verschmutzungseintrag. Eine gute Abstreifwirkung ist nur mit hohen Pressungsgradienten und einer gewissen Vorspann- bzw. Normalkraft zu erreichen. Die hohen Normalkräfte führen dazu, dass die untersuchten Abstreifer zur Adhäsion neigen. Deshalb sind Werkstoffe günstig, die diesem Verhalten entgegenwirken. Geeignete Werkstoffe sind:

- Elastollan (Abstreifer 27)
- P5010 (Abstreifer 45)
- P5061 (Abstreifer 46)
- P5001 (Abstreifer 44)

5 Hilfsmaßnahmen zur Abdichtung von Werkzeugmaschinenführungen

Hilfsmaßnahmen sind Vorrichtungen und Aufbauten, die dem Abstreifer in seinen Funktionen, Abdichten des Schmierstoffes bzw. Abstreifen von Fremdstoffen, unterstützen. Als Beispiele für solche Hilfsmaßnahmen werden hier vorgestellt und untersucht:

- Abstreifer mit vorgeschaltetem Sperrluftsystem
- Abstreifer mit vorgeschalteter Flüssigkeitsspülung
- Mehrfachanordnung von Abstreifern

In der ersten Untersuchungsreihe wird der eigentlichen Dichtung, dem Abstreifer, ein Sperrluftsystem vorgeschaltet, um so die Anzahl der auf den Abstreifer treffenden Feststoffpartikel zu verringern. Die zweite Untersuchungsreihe zielt auf dasselbe Ergebnis ab, hier wird lediglich der Luftstrom durch einen Flüssigkeitsstrom ersetzt.

Die Mehrfachanordnung wird vom Anwender oft eingesetzt, um ein redundantes Dichtsystem aufzubauen. Versagt ein Abstreifer, soll der nächste Abstreifer die Aufgaben übernehmen. Bisher ist ungeklärt, ob die Anordnung mehrerer Abstreifer hintereinander tatsächlich Vorteile bringt, oder sich die Abstreifer gegenseitig durch Mangelschmierung und durch eingeklemmte Partikel in den Zwischenräumen zerstören. Die Versuchsreihen wurden alle am Abstreiferprüfstand durchgeführt und mit der Videoeinrichtung aufgezeichnet. Die Untersuchungsmethode entspricht den in Kapitel 3 vorgestellten Untersuchungen zum Feststoffeintrag.

5.1 Abstreifer 44 mit vorgeschalteter Sperrlufteinheit

In dieser Versuchsreihe wurde der Abstreifer 44 mit einem Sperrluftdichtsystem auf der Schmutzseite gekoppelt. Kernstück der Sperrlufteinheit ist ein Kunststoffteil aus POM, das in den Außenbereichen auf der Glasplatte aufliegt. Im abstreifenden Bereich hat das Kunststoffteil eine Spalthöhe von 0,02 mm. Bild 47 zeigt die Stirnseite des Abstreifers mit der davor angeordneten Sperrlufteinheit. Das Kunststoffteil ist mit

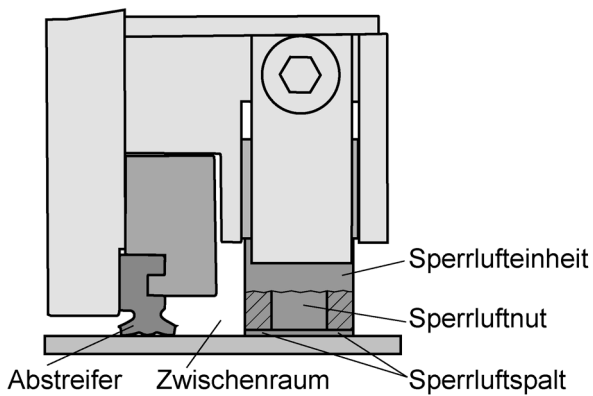


Bild 47: Abstreifer 44 mit Sperrlufteinheit

einer Aluminiumplatte fest verbunden und abgedichtet. Diese Aluminiumplatte dient zum Anschluss der Sperrluftzufuhr und zur Führung an der Befestigung, die mit der Zusteleinrichtung verbunden ist. Die Aluminiumplatte ist etwas größer als das Kunststoffteil und ist von vier Seiten geführt. Das Kunststoffteil wird zusammen mit der Aluminiumplatte über zwei Spiralfedern auf die Glasplatte gedrückt. Weitere Bestandteile des Versuchsaufbaus sind der Düsenblock zum Schmieren des Abstreifers und zum Abspülen von Partikeln auf

der Ölseite sowie die Partikeldosier- und Zuführeinrichtung auf der Schmutzseite. Das Sperrluftsystem wurde mit Druckluft aus dem Hausnetz versorgt, der Sperrluftdruck lag bei 1 bar.

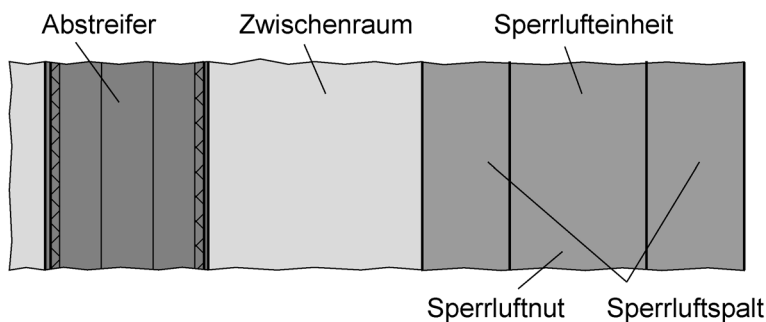


Bild 48: Abstreifer 44 mit Sperrlufteinheit, vertikale Position der Kamera

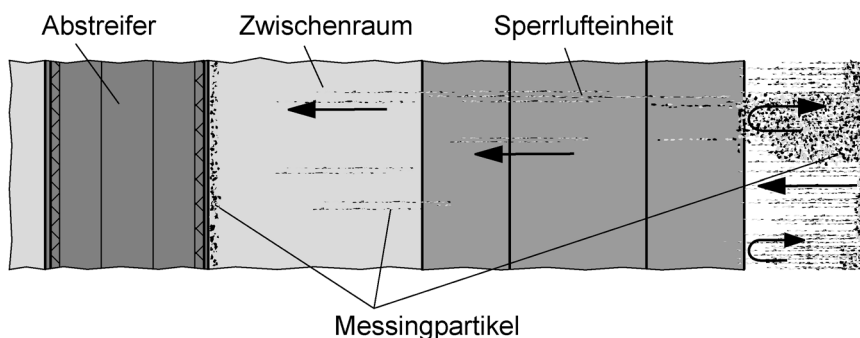
Bild 49: Abstreifer 44 mit Sperrlufteinheit, partikelabstreifender Hub, $v = 10 \text{ mm/s}$

Bild 49 und Bild 50 zeigen die Funktionsfähigkeit der Sperrlufteinheit für kleine und hohe Geschwindigkeiten. Im Versuch war gut zu erkennen, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten die Partikel, die eigentlich zum Abstreifer gelangen würden, zum größten Teil weggeblasen wurden. Es erreichten nur kleine Partikel, die an der Glas-

platte hafteten, den Abstreifer. Mit zunehmender Geschwindigkeit wurden viel mehr Partikel unter der Sperrlufteinheit hindurch geschleppt. Die beaufschlagten Partikel gelangten ungehindert zum Abstreifer, der Zwischenraum zwischen dem Abstreifer und der Sperrlufteinheit wurde kontinuierlich gefüllt. Vereinzelt kleine Partikel verklemmten sich unter den Dichtlippen des Abstreifers.

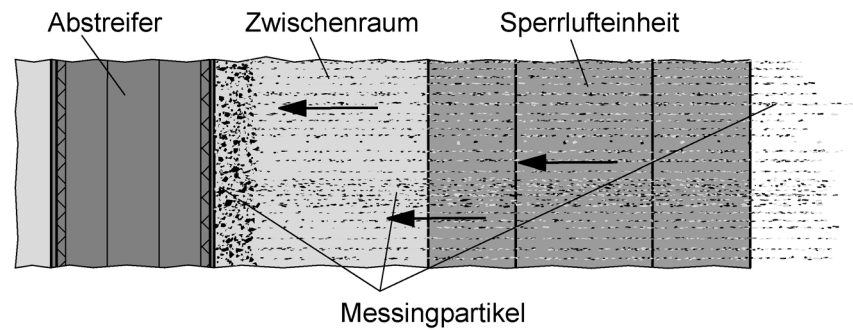


Bild 50: Abstreifer 44 mit Sperrlufteinheit, partikelabstreifender Hub, $v = 1000 \text{ mm/s}$

Die Sperrlufteinheit hat negativen Einfluss auf den Abstreifer. Bei den Untersuchungen mit vorgeschalteter Sperrlufteinheit wurden mehr Partikel in das System eingetragen, als ohne Sperrlufteinheit.

5.2 Abstreifer 44 mit Ölspülung

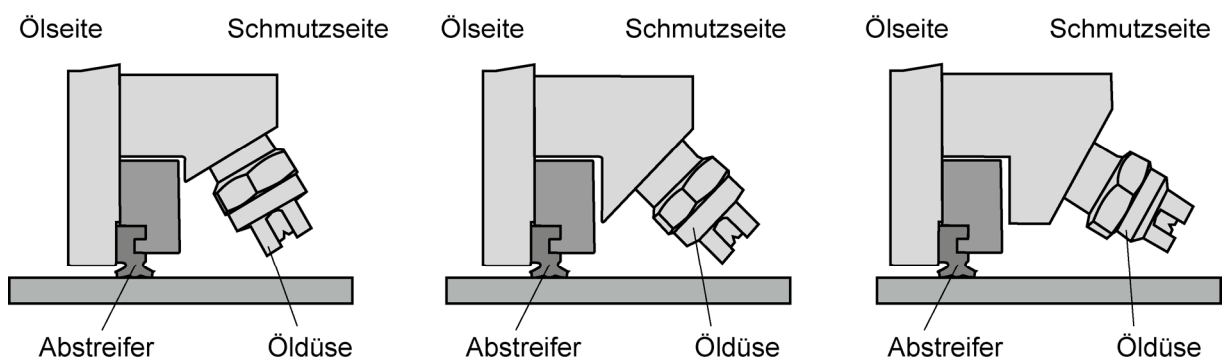


Bild 51: Abstreifer 44 mit Ölspülung Auftreffwinkel 60° (links), 45° (mitte), 30° (rechts)

Dem Abstreifer 44 wurde in dieser Versuchsreihe eine Leiste vorgelagert, in der 12 Flachstrahldüsen befestigt waren. Diese Flachstrahldüsen sollten die Partikel vor dem Abstreifer wegspülen. Die Untersuchungen wurden mit drei verschiedenen Auftreffwinkeln der Düsen durchgeführt. Als Spülflüssigkeit wurde das als Schmierstoff eingesetzte FVA-Referenzöl verwendet. Für die Untersuchungen wurden ausschließlich Flachstrahldüsen verwendet, da diese einen besseren Reinigungseffekt haben als

Punktstrahldüsen. Bild 51 zeigt den Aufbau bei verschiedenen Auftreffwinkeln der Flachstrahldüsen. Im Folgenden werden immer drei Bilder nebeneinander gezeigt, welche die gleiche Geschwindigkeit bei gleichem Hub zeigen. Nur der Auftreffwinkel der Flachstrahldüsen unterscheidet sich. Da keine großen Unterschiede bei verschiedenen Auftreffwinkeln aufgetreten sind, werden die Experimente hier zusammen erläutert.

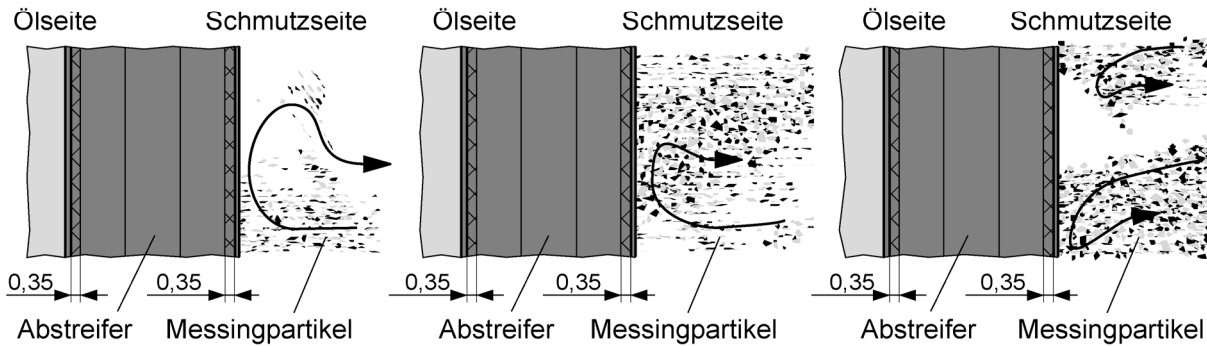


Bild 52: Abstreifer 44 mit Ölspülung Auftreffwinkel 60°, 45°, 30°, partikelabstreifender Hub, $v = 10 \text{ mm/s}$

Bild 52 zeigt, dass schon bei niedriger Geschwindigkeit Partikel zum Abstreifer gelangten. Der Schmierstoff, der die Dichtung freispülen soll, wirbelte die Messingpartikel auf und vermischte sich mit ihnen. Die Suspension der beiden Stoffe lag beim schmutzabstreifendem Hub am Abstreifer an. Beim schmierstoffabstreifendem Hub wurden die Messingpartikel vom Öl mitgenommen. Bei höheren Geschwindigkeiten, Bild 53; wurden die Messingpartikel durch den Spülstrom noch mehr verwirbelt. Vor dem Abstreifer haben sich keine Partikel abgesetzt. Die Dichtkanten konnten somit nicht von Partikeln unterbaut werden.

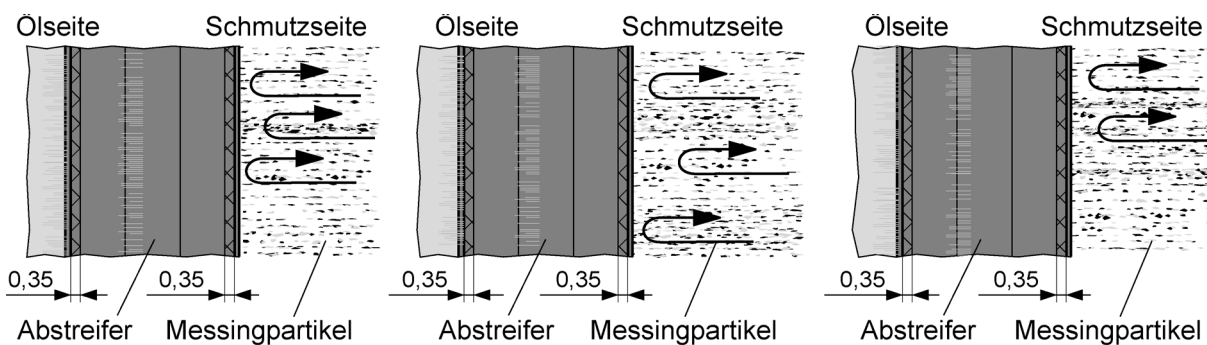


Bild 53: Abstreifer 44 mit Ölspülung Auftreffwinkel 60°, 45°, 30°, partikelabstreifender Hub, $v = 1500 \text{ mm/s}$

5.3 Mehrfachanordnung von Abstreifern

Bei dieser Untersuchung wurde von den zu untersuchenden Abstreiferprofilen zwei Leisten direkt hintereinander montiert, Bild 54. Der Raum zwischen den beiden Abstreifern seitlich wurde abgedichtet, um einen seitlichen Verschmutzungseintrag zu verhindern. Von der Ölseite her betrachtet werden die Abstreiferprofile von innen nach außen durchnummeriert. Drei Abstreiferprofile wurden exemplarisch untersucht. Zwei handelsübliche Abstreifer werden dem doppellippigen Abstreifer 44 gegenüber gestellt. Der einlippige Abstreifer 10 besitzt nur eine schmutzabstreifende Dichtlippe aus TPE. Das Elastomerteil ist in ein Aluminium-Profil eingeknüpft und wird in eingebautem Zustand gegen die Anschraubfläche verspannt. Der Vorspannweg der beiden Abstreifer lag bei 0,6 mm. Durch die biegeaweiche Konstruktion des Elastomerteils wirken auf die Dichtlippen-Spitze im vorgespannten Zustand nur geringe Normalkräfte. Am Kontakt mit der abzustreifenden Oberfläche wird die Lippenspitze deshalb nur geringfügig abgeplattet, Bild 55. Der Abstreifer zeigte hohe Leckage. Beim schmierstoffabstreifenden Hub wurde ein dicker Ölfilm ausgetragen. Vom Abstreifer 1 wurde dieser Ölfilm beim schmutzabstreifenden Hub weiter reduziert. Dadurch entstand im Zwischenraum der beiden Abstreifer schon nach kurzer Zeit eine Öllache, die abhängig von der Bewegungsrichtung an der Dichtkante des Abstreifers 1 bzw. am Abstreifer 2 anlag. Bei der Beaufschlagung mit Messingpartikeln ließ sich in dem Raum zwischen den beiden Abstreifern schon nach kurzer Zeit Messing finden.

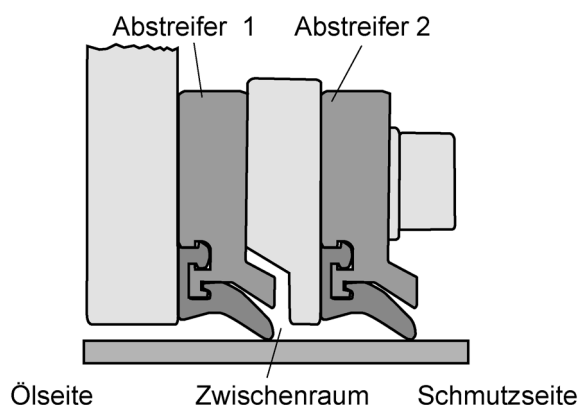


Bild 54: Abstreifer 10, Mehrfachanordnung

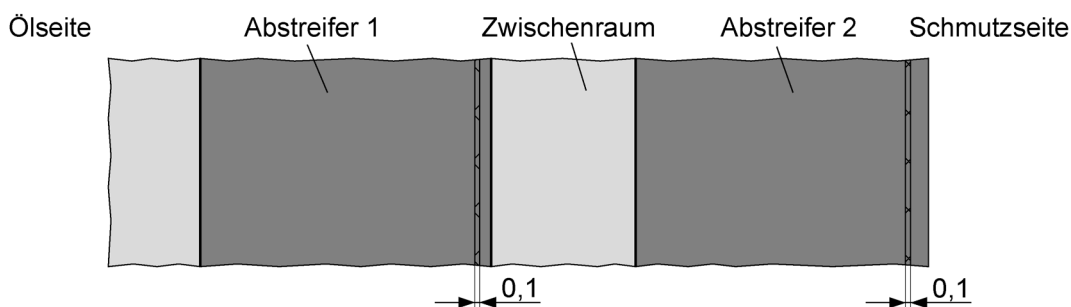


Bild 55: Mehrfachanordnung Abstreifer 10, Ansicht von unten, Versuchsbeginn

In Bild 56 ist die Abstreiferanordnung nach über 800 Hübem bei einer Geschwindigkeit von 1000 mm/s dargestellt. Das Bild zeigt deutlich, dass es im Zwischenraum der beiden Abstreifer zwei Bereiche gibt, in denen sich ein Partikel-Öl-Gemisch ansam-

melt. Erstens direkt nach der Kontaktzone des ersten Abstreifer, zweitens an der Dichtlippe des zweiten Abstreifers. Den Aufnahmen zufolge wird der Raum kontinuierlich mit Partikeln gefüllt. Eine Verbesserung des Abstreifverhaltens gegenüber einer Einzelanordnung ließ sich nicht erkennen.

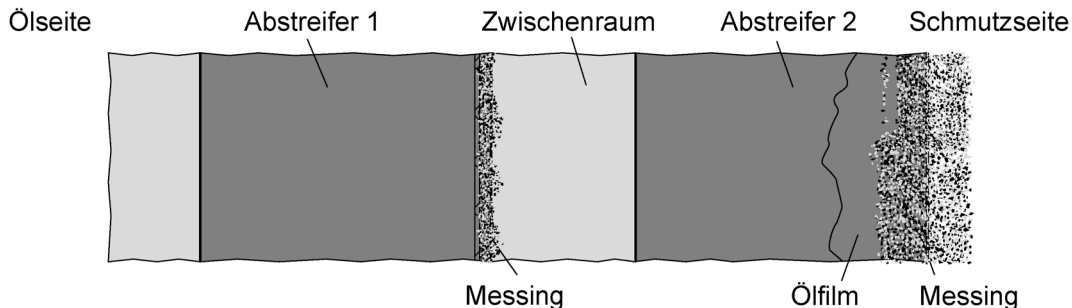


Bild 56: Feststoffbeaufschlagung Abstreifer 10, Versuchsende

Abstreifer 12 besteht aus einem einlippigen Dichtkörper aus synthetischem Kautschuk, der auf ein Trägerblech aus Stahl aufvulkanisiert ist, Bild 57. Der Vorspannweg der beiden Abstreifer beträgt 1 mm. Der Abstreifer weist schmutz- und schmierstoffseitig flache Keilspalte auf. Bild 58 zeigt die Kombination zu Versuchsbeginn. Bei den Untersuchungen wies die Abstreiferanordnung große Leckage auf. Unter beiden Abstreifern wurde beim schmierstoffabstreifenden Hub ein sehr dicker Ölfilm hindurchgeschleppt. Die Dichtlippen beider Abstreifer schwammen geradezu auf dem Öl auf.

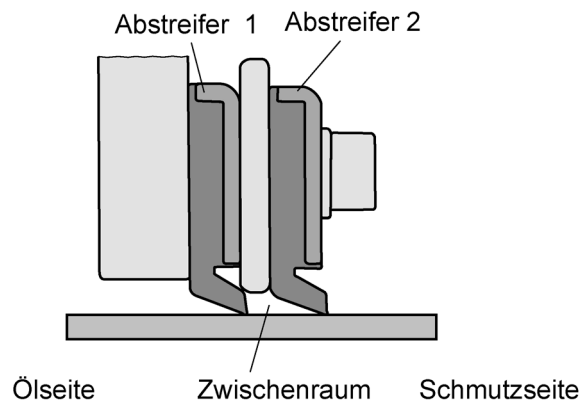


Bild 57: Abstreifer 12, Mehrfachanordnung

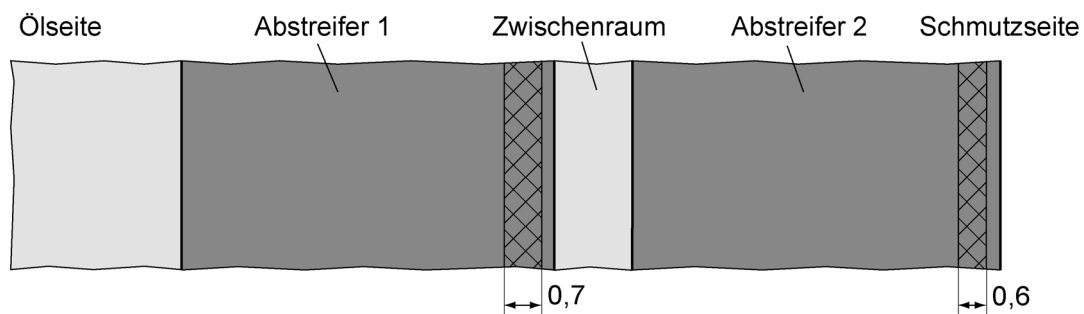


Bild 58: Abstreifer 12, Versuchsbeginn

Bei Partikelbeaufschlagung zeigten die Abstreifer bereits bei kleinen Geschwindigkeiten Verschmutzungseinträge. Die Partikel wurden einerseits direkt unter den Abstreifern hindurchgeschleppt, andererseits lagerten sie sich unter der Dichtlippe an und hoben diese ab, Bild 59.

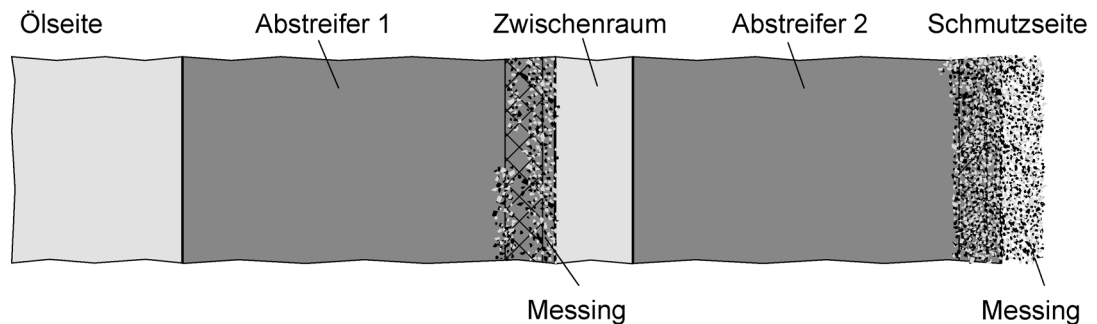


Bild 59: Abstreifer 12, Partikel, $v = 500 \text{ mm/s}$

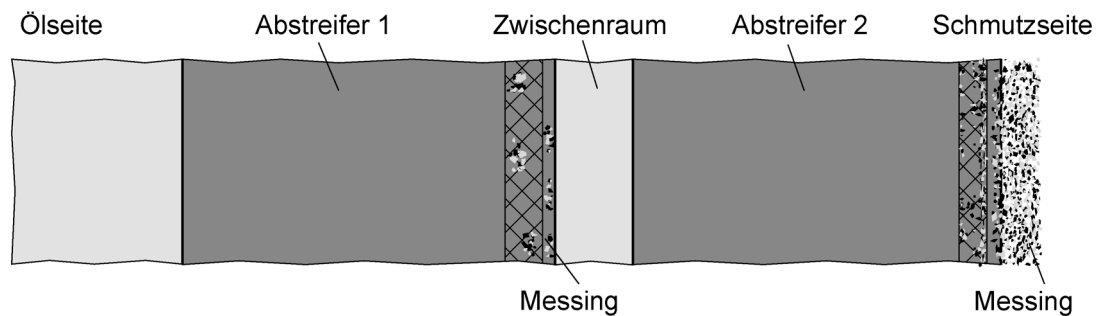


Bild 60: Abstreifer 12, Partikel, $v = 1000 \text{ mm/s}$

Ab einer Geschwindigkeit von 1000 mm/s tritt bei beiden Abstreifern ein Selbstreinigungseffekt auf. Dabei wird unter dem Abstreifer ein derart dicker Ölfilm hindurchgeschleppt, dass ein Großteil der Partikel, die sich in der Kontaktzone der Abstreifer befinden, je nach Bewegungsrichtung zur Öl- oder zur Schmutzseite der Abstreifer geschleppt werden, Bild 60. Dieselben Effekte, die zum Schmierstoffaustrag bzw. Feststoffeintrag führten, waren aus der Einzelbetrachtung des Abstreifers bereits bekannt. Das Vorschalten eines weiteren Abstreifers vermag es in diesem Fall nicht einmal den Feststoffeintrag zur Ölseite zu verzögern. Hier werden lediglich die Reibkräfte verdoppelt.

Abschließend wird der Abstreifer 44 in der Mehrfachanordnung untersucht. Bild 61 zeigt den Abstreifer in der Doppelanordnung. Beim schmierstoffabstreifenden Hub wird

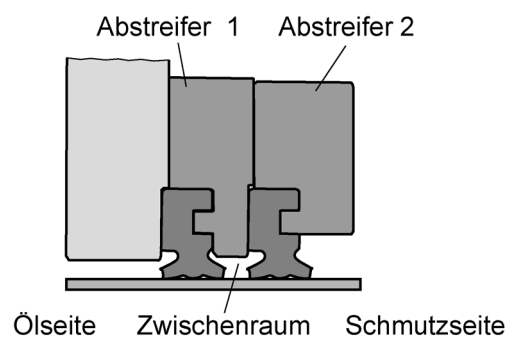


Bild 61: Abstreifer 44, Mehrfachanordnung

der Film bereits vom Abstreifer 1 auf eine Mindesthöhe reduziert. Am Abstreifer 2 findet keine weitere Filmdickenreduzierung statt, ansonsten würde sich im Zwischenraum der Abstreifer eine sichtbare Öllache bilden. Bild 62 zeigt die Abstreiferkombination bei Versuchsende. Aus dem Bild wird ersichtlich, dass nach über 800 Hüben mit einer Geschwindigkeit von 1000 mm/s sich im Raum zwischen den beiden Abstreifern weder Öl noch Partikel befinden. Auch beim Abstreifer V18_9 macht die Kombination zweier Profile keinen Sinn. Jeder Abstreifer für sich erfüllt seine Aufgabe in vollem Maße. Auch hier sind nur Nachteile bezüglich der Zunahme der Reibkräfte sowie einer eventuell auftretenden Mangelschmierung des schmutzseitigen Abstreifers 2 zu sehen.

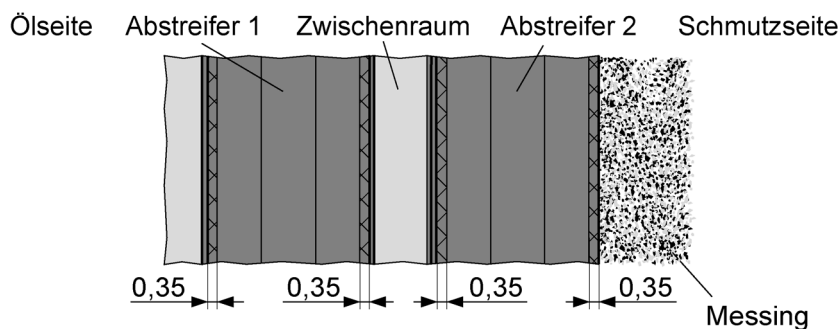


Bild 62: Abstreifer 44, Partikel, bei Versuchsende

5.4 Fazit

Die Mehrfachanordnung von Abstreifern bringt keine Vorteile. Das haben die Untersuchungen der drei Abstreiferprofile gezeigt. Verschiedene Effekte waren zu erkennen. Beim Abstreifer 10 das allmähliche Auffüllen des Abstreiferzwischenraums mit Schmierstoff und Partikeln und das Versagen beider Dichtungen beim Abstreifer 12. Bei beiden Abstreifern hatte das Vorschalten eines weiteren Abstreifers keinen positiven Einfluss. Die Beobachtung der Mehrfachanordnung des Abstreifer 44 lassen den Schluss zu, dass bei einer funktionierenden Dichtung der zweite Abstreifer unnötig, wenn nicht gar schädlich ist. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass eine Sperrlufteinheit vor einem funktionierenden Abstreifer unnötig ist. Eine Reduzierung von Partikeln, die auf den Abstreifer eintreffen können, findet nicht statt. Es ist eher so, dass sich die eingeschlossenen Partikel zwischen Abstreifer und Sperrlufteinheit negativ auf die abdichtende Funktion des Abstreifers auswirken. Bei Flüssigkeitsspülungen konnten keine negative Effekte auf das Dichtergebnis festgestellt werden. Durch die Schmierstoffströmung konnten sich keine Partikel an der Dichtkante anlagern. Wird eine solche Spülung z.B. mit Kühlschmierstoff durchgeführt, gilt es zu bedenken, dass sehr viel Kühlschmierstoff mit hoher Geschwindigkeit in den Bereich der Führung gelangt. Genau das soll aber eigentlich vermieden werden. Das beste Ergebnis wird mit einem richtig gestalteten doppellippigen Abstreifer erreicht /44/.

6 Ergebnisse an Abstreiferstirnplatten

Es wurden verschiedene handelsübliche Profilschienenführungen der Baugröße 45 untersucht. Drei der untersuchten Führungen sind Rollenführungen, die von unten mit der Tischfläche des Prüfstandes verschraubt wurden. Im Weiteren werden diese Führungen Schiene 1, Schiene 2 und Schiene 3 genannt. Rollenführungen haben im Vergleich zu Kugelführungen eine weniger komplexe Schienengeometrie. Das ist ein Vorteil für die praktischen Untersuchungen, als auch für die Entwicklung neuer Abstreiferstirnplatten. Durch die Verschraubung von unten werden Fehlstellen in der abzustreifenden Schienenoberfläche vermieden. Die Versuchsergebnisse werden so nicht beeinflusst. Schiene 4 gehört zu einer Kugelführung. Im Gegensatz zu den Schienen der Rollenführungen wurde die Schiene 4 von oben verschraubt. Die Schraubenlöcher wurden anschließend mit Messingstopfen verschlossen.

Zur Untersuchung und Bewertung der unterschiedlichen Dichtsysteme wurden folgende Versuchsprogramm durchgeführt:

- Profilschnitte und Durchlichtaufnahmen
- Reibkraftuntersuchungen
- Leckagebeurteilung
- Verschmutzungsuntersuchungen

6.1 Profilschnitte und Durchlichtaufnahmen

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Abstreiferstirnplatten wurden mit und ohne Profilschiene in Kunstharz eingegossen und an ausgewählten Stellen getrennt. Die Eingüsse der Abstreiferstirnplatten mit den zugehörigen Profilschienen als Gegenfläche geben Auskunft über die Gestalt der Abstreifer im eingebauten Zustand und klären die Kontaktverhältnisse an den Dichtlippen. Die Bilder der einzelnen Profilschnitte haben alle die gleiche Ausrichtung. Links vom Abstreiferprofil befindet sich die Schmierstoffseite, rechts die Schmutzseite. Kombinationen von Abstreiferstirnplatten werden immer so dargestellt, dass sich links der Standardabstreifer befindet und rechts der Vorabstreifer.

Für die Abdichtung von festen und flüssigen Fremdstoffen gelten noch folgende aufgelistete Anforderungen für die Gestalt eines Abstreifers, Die Bilder der Profilschnitte sind unter diesen Gesichtspunkten zu betrachten:

- Zur Abdichtung von flüssigen Fremdstoffen ist ein Pressungsverlauf mit schmutzseitig steilem Pressungsanstieg notwendig.
- Zusätzlich darf schmutzseitig im vorgespannten Zustand kein Keilspalt entstehen.
- Stabile Dichtlippen an korrekt befestigten Abstreifern sind notwendig, um den Eintrag von Feststoffen durch Verformung der Dichtlippe zu verhindern.
- Profilverfälschungen an Abstreifern wie Grate, Formaustrieb und Oberflächenfehler sind an den funktionsbestimmenden Oberflächen der Dichtlippen zu vermeiden.
- Da lange, schlanke und spitz zulaufende Dichtlippen biegeweich sind und nur eine eingeschränkte Profilstabilität haben, sind kurze, dicke und massiv ausgeführte Dichtlippen zu bevorzugen.

Bild 63 zeigt die Schiene S1 mit Abstreiferstirnplatte. Auch die Positionen der Schnitte sind dargestellt. Bild 64, Bild 65 und Bild 66 zeigen die Schnitte der Abstreiferstirnplatten S1.1 und S1.2 mit und ohne Gegenfläche. In den Bildern ist die Position der Schnitte mit den Ziffern 1 und 6 gekennzeichnet. Bei der Schnittposition 1 liegt das Profil an der ebenen Fläche der Profilschiene an. Schnittposition 6 liegt auf einer Wälzbahn der Führung. In den Schnittbildern werden links die Abstreiferstirnplatten S1.1 und S1.2 gemeinsam dargestellt. Daneben sind Vergrößerungen der einzelnen Dichtlippen. Die schmutzabstreifende Dichtlippe ist nach rechts gerichtet. Die beiden Abstreiferstirnplatten werden in dieser Kombination bei starker Verschmutzung eingesetzt.

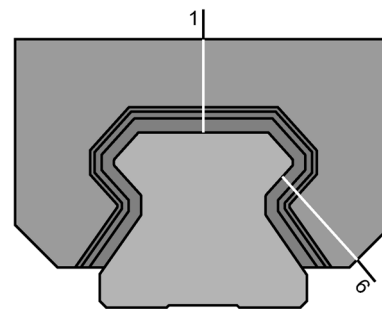


Bild 63: Schnittpositionen Schiene 1

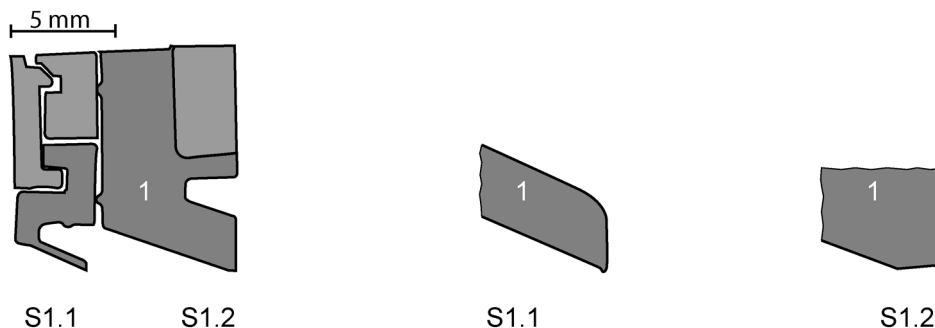


Bild 64: Abstreiferstirnplatte S1.1 und S1.2, Schnitt 1

Die Abstreiferstirnplatte S1.1 besteht aus einer einlippigen TPE-Dichtung, die in einen Kunststoffträger eingeknüpft ist. Die Dichtlippe ist lang und schlank ausgeführt. Der

Kunststoffträger wird über vier Schrauben am Führungswagen befestigt und von diesem über drei seitliche Begrenzungen grob zur Profilschiene positioniert. Abstreiferstirnplatte S1.2 ist eine einlippige Dichtung aus synthetischem Kautschuk, die auf einem Trägerblech aufvulkanisiert ist.

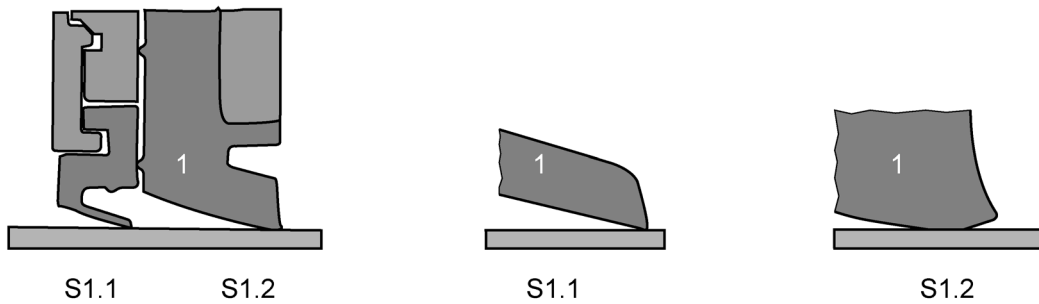


Bild 65: Abstreiferstirnplatte S1.1 und S1.2, Schnitt 1 mit Gegenfläche

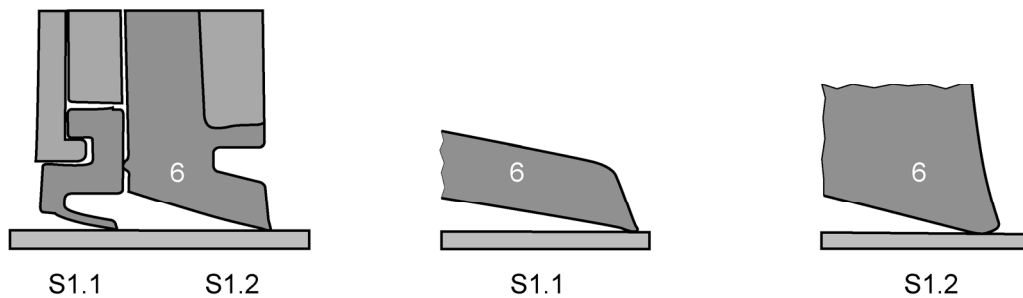


Bild 66: Abstreiferstirnplatte S1.1 und S1.2, Schnitt 6 mit Gegenfläche

Bild 64 zeigt die Abstreiferstirnplatten im unmontierten Zustand. Die Dichtlippen sind unverformt. Im direkten Vergleich dazu zeigen Bild 65 und Bild 66 die Abstreiferstirnplatten, wie sie an der Profilschiene anliegen. Die Dichtlippen der Abstreiferstirnplatten werden dabei nur gering verformt. Der Vorspannweg der Dichtungen ist sehr gering. Bei Abstreiferstirnplatte S1.2 bilden sich schmierstoff- und schmutzseitig Keilspalte.

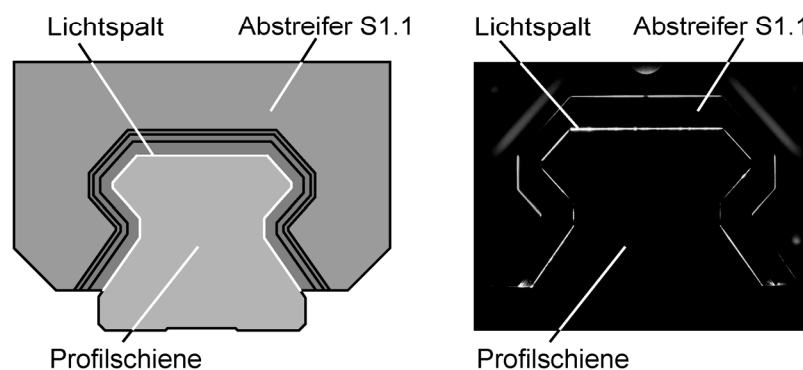


Bild 67: Durchlichtaufnahme Abstreiferstirnplatte S1.1

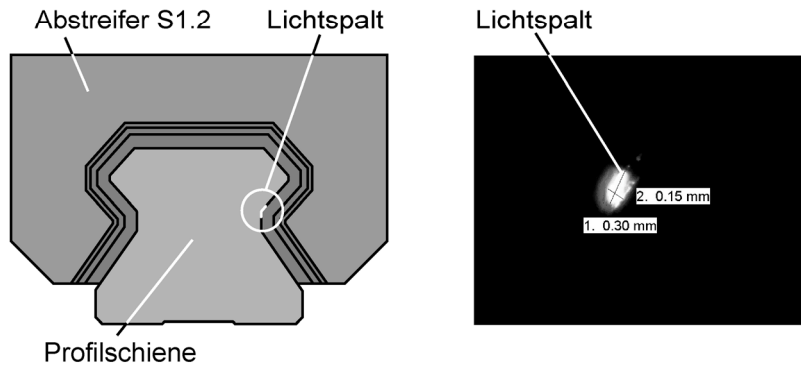


Bild 68: Durchlichtaufnahme Abstreiferstirnplatte S1.2

Bild 67 zeigt eine Durchlichtaufnahme der Abstreiferstirnplatte S1.1. Über die gesamte Geometrie der Profilschiene ist im Bereich der Kontaktzone der Dichtlippen Licht sichtbar. Die Dichtlippen berühren die Gegenfläche gar nicht oder nur sehr wenig. Die Abstreiferstirnplatte S1.2 hat über den größten Teil der Profilschiene Kontakt mit der Gegenfläche, Bild 68. Die Durchlichtaufnahme macht lediglich eine schadhafte Stelle an einer Innenecke sichtbar.

Bild 70 bis Bild 73 zeigen verschiedene Profilschnitte der Abstreiferstirnplatte S2.1 und S2.2, sowie die Position der Schnitte. Die Abstreiferstirnplatte S2.1 besteht aus einem teilkristallinen Kunststoffträger, an dem das doppellippige Dichtprofil angespritzt ist. Die Hauptaufgabe Schmierstoff und Fremdstoff abzuwickeln ist jeweils einer Dichtlippe zugeordnet. Die Stirnplatte beinhaltet Kanäle für die Schmierstoffversorgung der Führung und wird über zwei Schrauben mit dem Führungswagen verbunden.

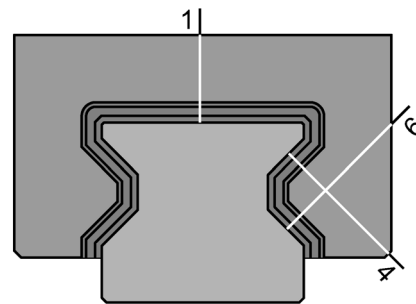


Bild 69: Schnittpositionen Schiene 2

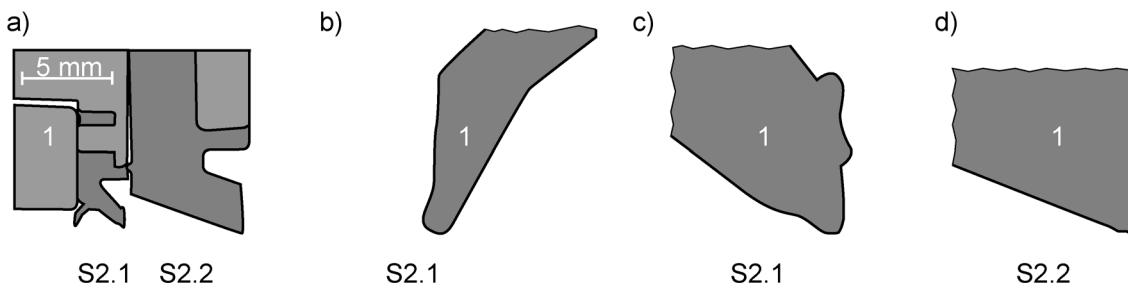


Bild 70: Abstreiferstirnplatte S2.1 und S2.2, Schnitt 1

Eine genaue Positionierung der Dichtung zur Profilschiene findet nicht statt. Die einlippige Abstreiferstirnplatte S2.2 besteht aus Kautschuk und ist auf ein Träglech

aufvulkanisiert. Die Abstreiferstirnplatte S2.2 dient dem Abstreifer S2.1 als Vorabstreifer und wird über dasselbe Bohrbild befestigt. Somit wird auch die Stirnplatte S2.2 nicht positioniert. In den Bildern sind jeweils auf der linken Seite die Stirnplatten S2.1 und S2.2 gemeinsam dargestellt. Daneben schmierstoff- und schmutzabstreifende Dichtlippe von Abstreiferstirnplatte S2.1. Rechts in den Bildern wird die Dichtlippe der Stirnplatte S2.2 vergrößert dargestellt. Bild 70 zeigt die unmontierten und unverformten Dichtungen. Die weiteren Bilder zeigen das Profil an den Positionen 1, 4 und 6 der Profilschiene. In Bild 71 ist zu sehen, dass die Stirnplatte S2.1 die obere Ebene der Profilschiene gar nicht berührt. Die schmutzabstreifende Dichtlippe der Abstreiferstirnplatte S2.1 ist zudem mangelhaft hergestellt. Die Dichtkante der Stirnplatte S2.2 liegt gerade so an. Die Dichtlippe wird nur sehr wenig verformt. Bild 72 und Bild 73 zeigen die Stellen der Dichtprofile, die in den Bereichen der Wälzbahnen abstreifen. Die Dichtlippen der Stirnplatte S2.1 haben Kontakt mit der Profilschiene. Dabei werden im wesentlichen nur die Spitzen der Dichtlippen deformiert. Im Vergleich zum Schnitt 1 ist die schmierstoffabstreifende Dichtlippe der Abstreiferstirnplatte S2.1 hier dicker ausgeführt.

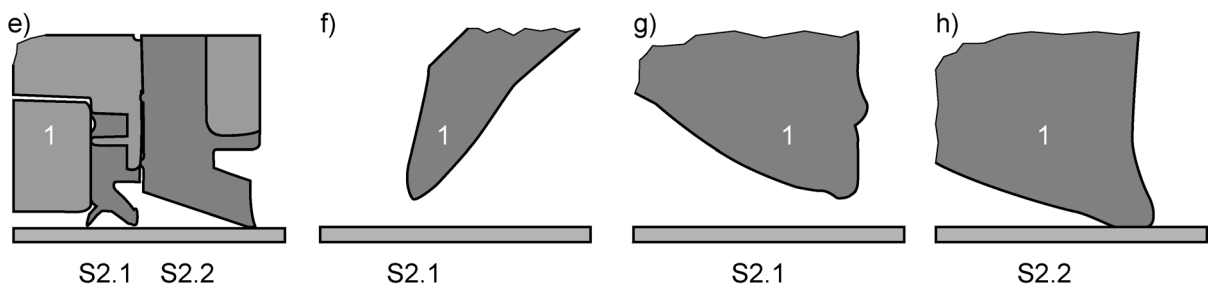


Bild 71: Abstreiferstirnplatte S2.1 und S2.2, Schnitt 1 mit Gegenfläche

Der Vergleich von Bild 72 mit Bild 73 macht die ungünstige Positionierung der Stirnplatte S2.2 zur Profilschiene deutlich. Während die Dichtlippe im Schnitt 4 deutlich verformt wird, hat sie im Bereich des Schnitts 6 fast keinen Kontakt zur Profilschiene.

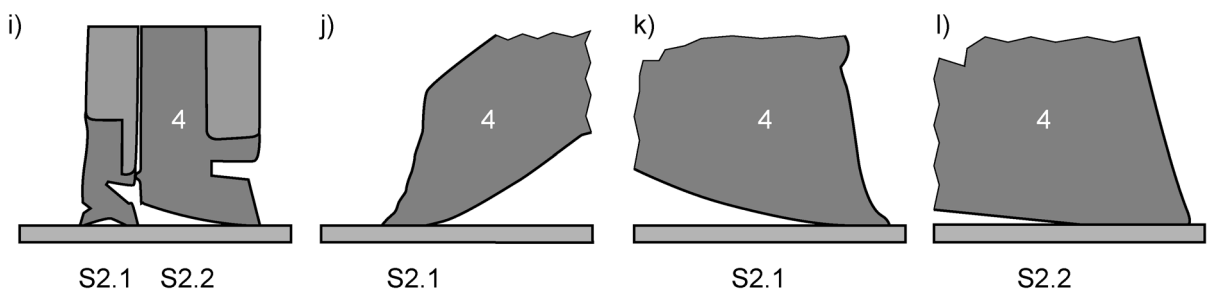


Bild 72: Abstreiferstirnplatte S2.1 und S2.2, Schnitt 4 mit Gegenfläche

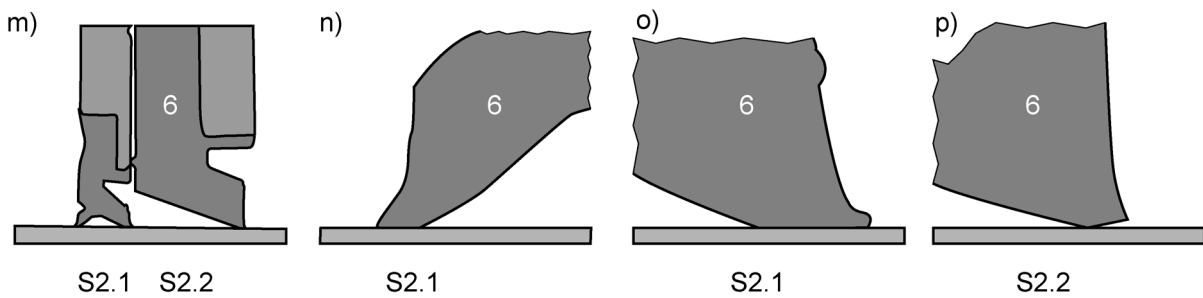


Bild 73: Abstreiferstirnplatte S2.1 und S2.2, Schnitt 6 mit Gegenfläche

Die Durchlichtaufnahmen der beiden Abstreiferstirnplatten der Schiene 2 bestätigen das Bild, das durch die Profilschnitte vermittelt wird. Bild 74 zeigt einen deutlichen Spalt zwischen der oberen Ebene der Profilschiene und der Abstreiferstirnplatte S2.1. Aber auch an den Innenecken im Bereich der Führungsbahnen sind Lichtspalte zu erkennen.

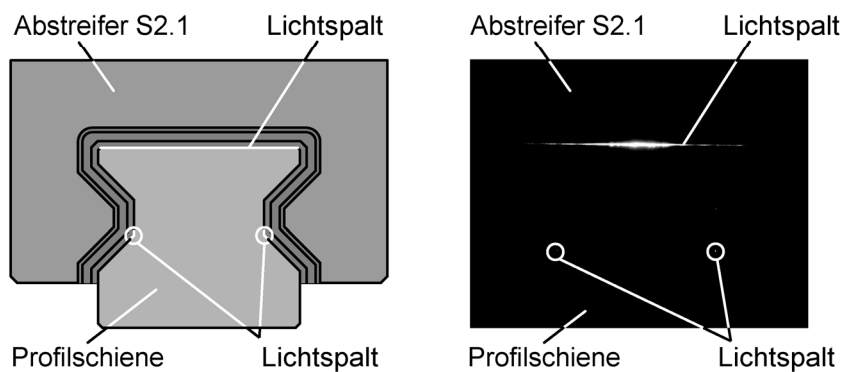


Bild 74: Durchlichtaufnahme Abstreiferstirnplatte S2.1

Die Abstreiferstirnplatte S2.2 berührt über deutlich größere Bereiche die Profilschiene. Bild 75 zeigt zwei Bereiche, in denen sich bei der Aufnahme Lichtspalte erkennen ließen. Diese liegen wieder im Bereich der Innenecken an den Wälzbahnen.

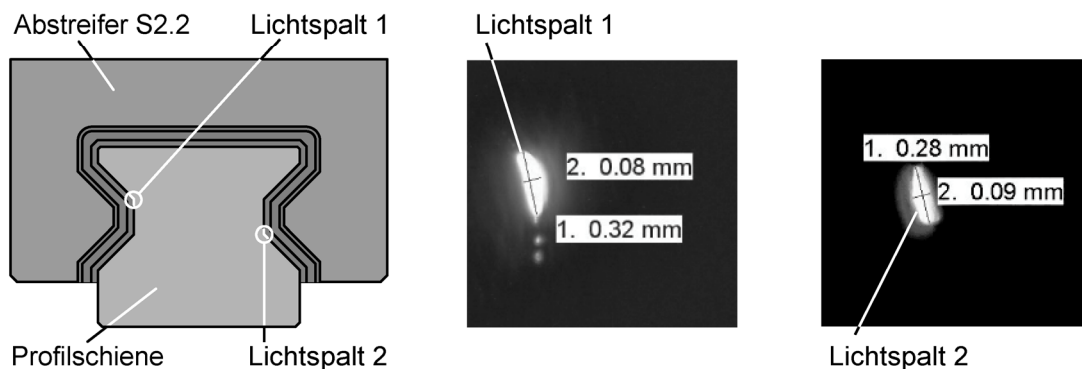


Bild 75: Durchlichtaufnahme Abstreiferstirnplatte S2.2

Bild 77 zeigt die beiden Abstreiferstirnplatten der Profilschiene 3. Die Position der Schnitte ist in Bild 76 dargestellt. Der einlippige Abstreifer S3.1 besteht aus TPE und ist über eine Stützkonstruktion mit dem Führungswagen verbunden. Eine exakte Positionierung des Abstreifers zu der Profilschiene findet nicht statt. Der Abstreifer S3.2 hat eine schlanke Dichtlippe, die an einen Metallträger angespritzt wird. Die Abstreiferstirnplatte wird über vier Schrauben mit dem Führungswagen verbunden. Die Profilschiene S3 ist optional mit einem Abdeckband erhältlich. Dieses Stahlband deckt die Bohrlöcher der Profilschiene ab, die bei einer Verschraubung der Schiene von oben vorhanden sind. Im oberen Bereich ist der Querschnitt der Profilschiene so gestaltet, dass ein Abdeckband auf die Schiene geclipst werden kann. Für die Eingüsse der Abstreiferstirnplatten S3.1 und S3.2 wurde neben einer Schiene ohne Abdeckband auch eine mit eingeclipstem Abdeckband eingegossen.

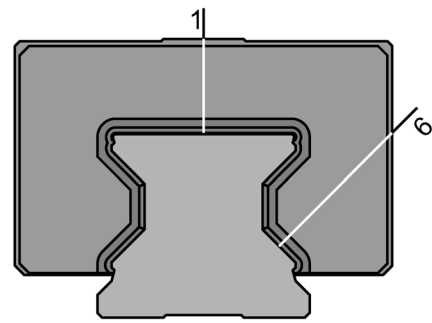


Bild 76: Schnittpositionen Schiene 3

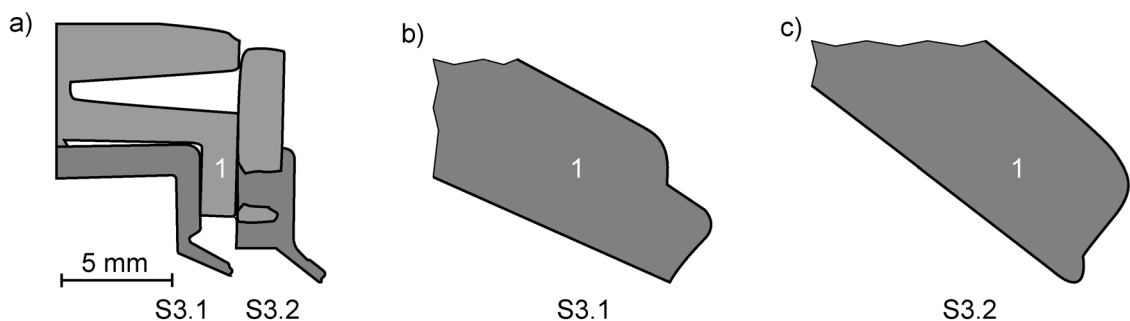


Bild 77: Abstreiferstirnplatte S3.1 und S3.2, Schnitt 1

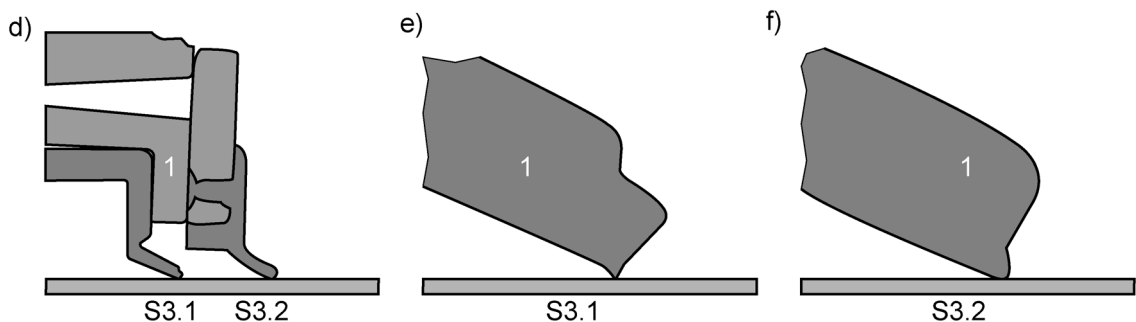


Bild 78: Abstreiferstirnplatte S3.1 und S3.2, Schnitt 1 mit Gegenfläche

Bild 77 zeigt die Profile des Schnitts 1 im unmontierten Zustand. Die Aufnahmen im Bild 78 wurde ohne, im Bild 79 mit Abdeckband aufgenommen. Im Vergleich zu den Dichtlippen im unmontierten Zustand fällt auf, dass in einem Fall die Dichtlippen kaum Kontakt zur Profilschiene haben, während im anderen Fall die Dichtlippen bei-

der Abstreiferstirnplatten soweit vorgespannt sind, dass sie über die gesamte Länge durchgebogen werden.

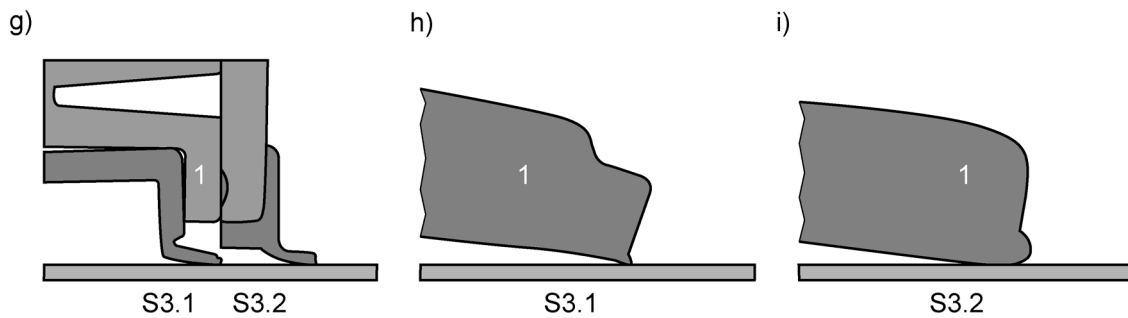


Bild 79: Abstreiferstirnplatte S3.1 und S3.2, Schnitt 1 mit Abdeckband

Die dabei wirkenden Normalkräfte sind jedoch so gering, dass die Dichtlippe der Abstreiferstirnplatte S3.1 weiterhin nur über einen Formaustrieb an der Dichtkante aufliegt. Die Dichtlippe der Stirnplatte S3.2 ist mangelhaft gefertigt. Im Bereich der Dichtlippe befindet sich wie schon bei Stirnplatte S3.1 ein Formaustrieb. Dieser bildet in beiden Montagevarianten mit der Profilschiene einen Keilspalt. Bild 80 zeigt das Dichtprofil an der Schnittposition 6, in einem Bereich wo es eine Wälzbahn der Profilschiene abstreift. Die Dichtlippe der Stirnplatte S3.1 hat ein anderes Profil, als im Bereich des Schnitts 1. Des Weiteren besteht an dieser Stelle kein Kontakt zwischen Abstreiferprofil und Profilschiene. Auch die Dichtlippe der Abstreiferstirnplatte S3.2 hat nur in soweit Kontakt mit der Profilschiene, dass die Dichtkante gerade anliegt. Eine Verformung des Profils und somit eine Vorspannung des Abstreifers kann nicht beobachtet werden.

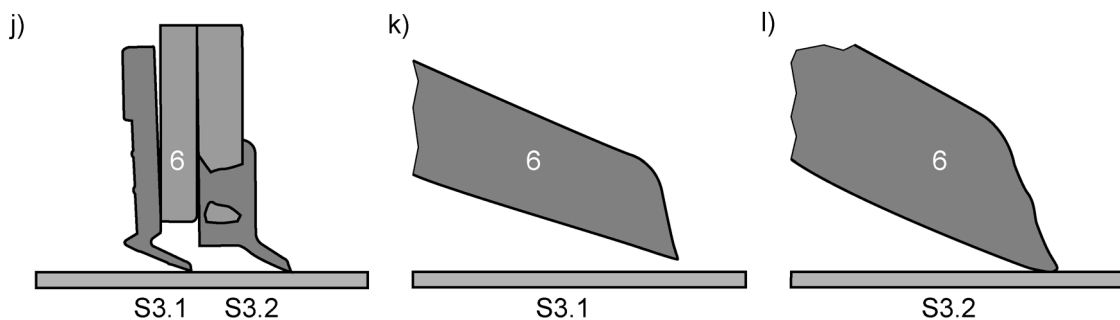


Bild 80: Abstreiferstirnplatte S3.1 und S3.2, Schnitt 6 mit Gegenfläche

Bild 81 zeigt die Durchlichtaufnahmen der Abstreiferstirnplatte S3.1 mit und ohne Abdeckband. Über den gesamten Umfang der Profilschiene verteilt sind Lichtspalte zu erkennen. Die Kontaktverhältnisse der Abstreiferstirnplatte sind unzureichend.

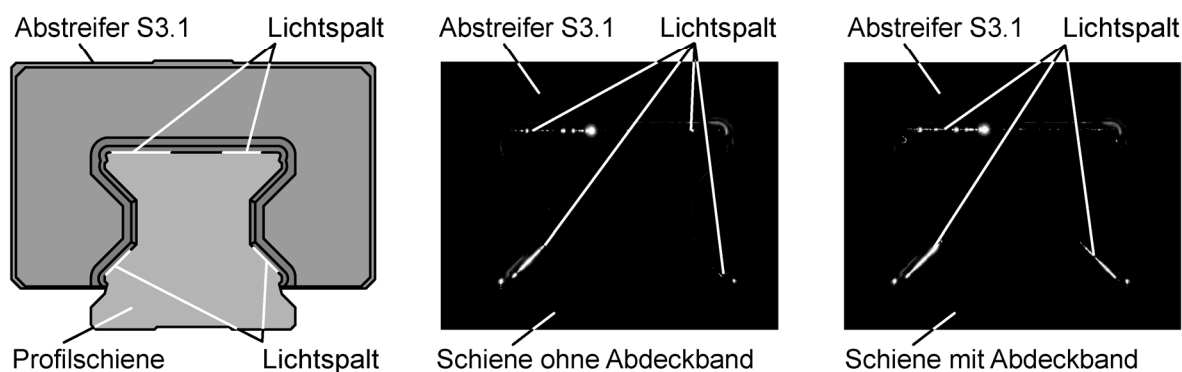


Bild 81: Durchlichtaufnahme Abstreiferstirnplatte S3.1

In Bild 82 ist die oben beschriebene Situation noch deutlicher zu sehen als in Bild 81. Bei eingebautem Abdeckband bildet sich ein Lichtspalt der über den gesamten Umfang der Profilschiene verläuft.

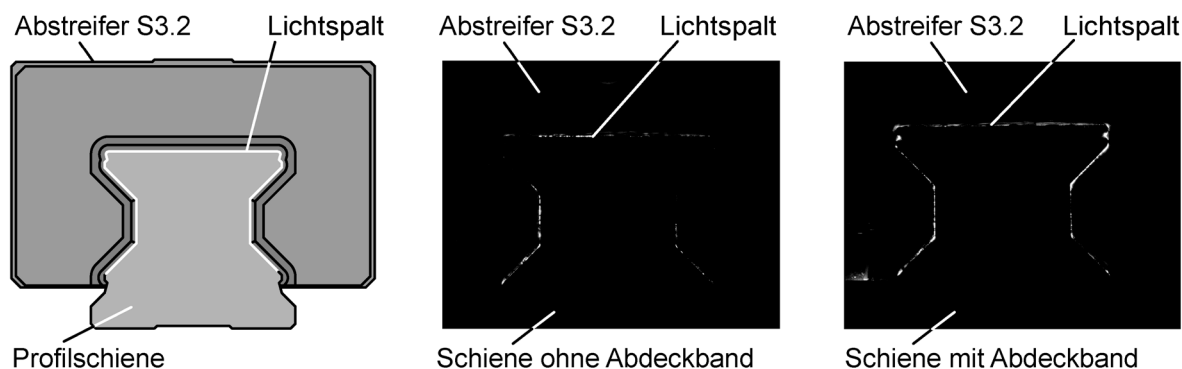


Bild 82: Durchlichtaufnahme Abstreiferstirnplatte S3.2

Bei der Schiene 4 handelt es sich um eine Kugelschienenführung, die von oben verschraubt ist und somit die entsprechenden Bohrlöcher aufweist, Bild 83. Der Führungswagen der Kugelschienenführung ist mit einer Quer- und Längsabstreiferkombination abgedichtet, die nicht mit der bestehenden Versuchseinrichtung untersucht werden kann. Im Folgenden wird nur der einzeln erhältliche Vorabstreifer vorgestellt.

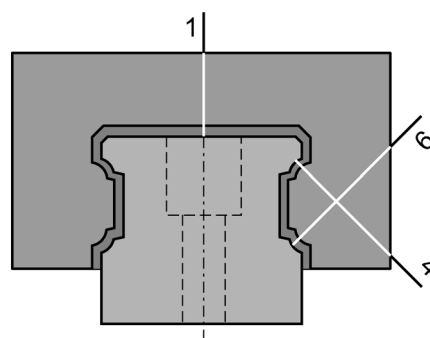


Bild 83: Schnittpositionen Schiene 4

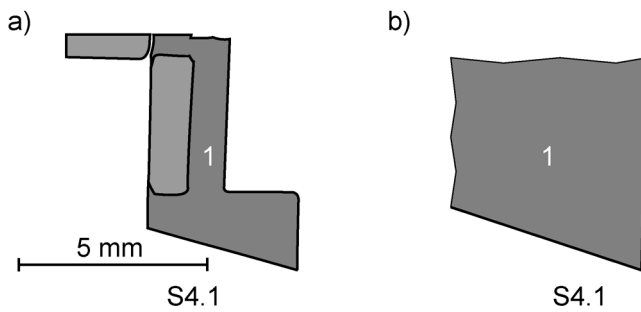


Bild 84: Abstreiferstirnplatte S4.1, Schnitt 1

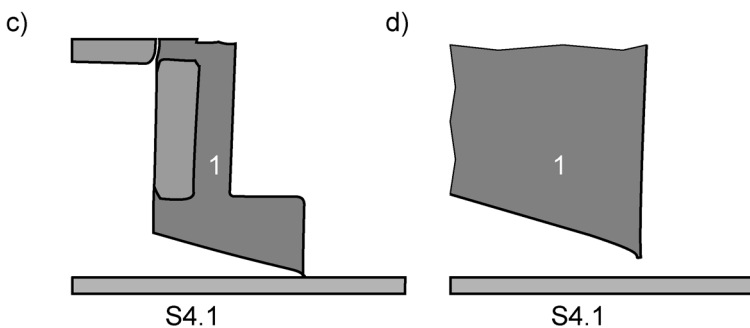


Bild 85: Abstreiferstirnplatte S4.1, Schnitt 1 mit Gegenfläche

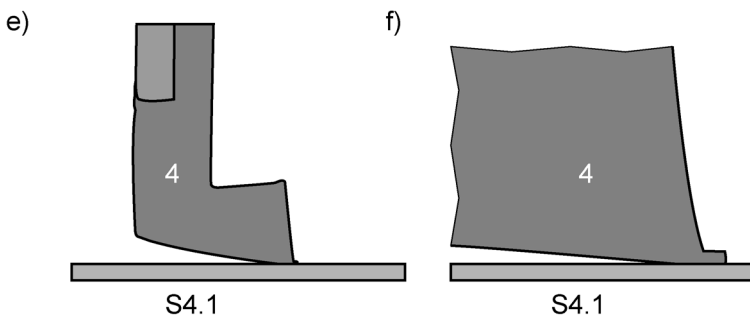


Bild 86: Abstreiferstirnplatte S4, Schnitt 4 mit Gegenfläche

Dieser entspricht im Aufbau und Profil dem oben genannten Querabstreifer. Daher lassen sich bei Betrachtung des einzelnen Abstreifers Rückschlüsse auf das gesamte Dichtsystem ziehen. Abstreiferstirnplatte S4.1 ist als formgespritzte einlippige Dichtung aus synthetischem Kautschuk mit einem Trägerblech ausgeführt. Die Stirnplatte wird über zwei Schrauben mit dem Führungswagen verbunden. Eine Zentrierung, bzw. Positionierung findet nicht statt.

Bild 84 zeigt den Abstreifer und dessen vergrößerte Dichtlippe im unmontierten Zustand. Die Dichtlippe ist unverformt. Die Schnittpositionen sind in Bild 83 dargestellt. Bild 85 bis Bild 87 zeigen, wie die Abstreiferstirnplatte an der Profilschiene anliegt. Die Schnitte 4 und 6 liegen senkrecht zur Kugellaufbahn der Profilschiene. Aus den Bildern wird die unzureichende Positionierung der Abstreiferstirnplatte zur Gegenfläche deutlich. Die Abstreiferlippen sind unzureichend ausgeformt. An der Dichtkante befindet sich ein Formaustrieb. Die Kontaktzone ist nicht definiert. Die Dichtlippe der Abstreiferstirnplatte hat nicht immer Kontakt mit der Gegenfläche. Nur in

Bild 86, das den Bereich der oberen Kugelbahn wiedergibt wird die Dichtlippe deutlich vorgespannt.

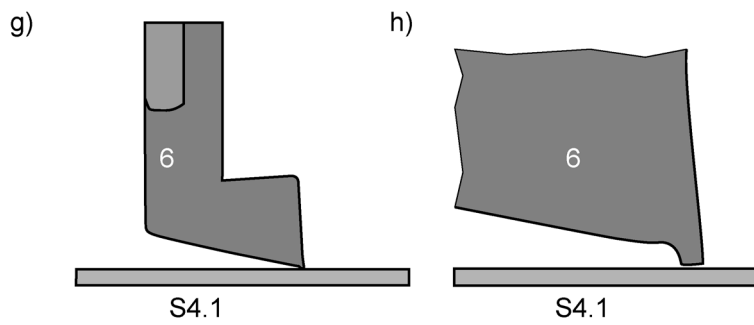


Bild 87: Abstreiferstirnplatte S4.1, Schnitt 4 mit Gegenfläche

Die Durchlichtaufnahme der Abstreiferstirnplatte ist in Bild 88 dargestellt. Die Aufnahme gibt ein anderes Bild wieder als die Profilschnitte. Die offenen Spalten, die im Schnitt 1 und Schnitt 6 zu sehen sind, lassen sich in den Durchlichtaufnahmen nicht wiederfinden. Dagegen finden sich in der Durchlichtaufnahme offene Stellen im Bereich der oberen Kugelbahn. Dieser Bereich entspricht dem Schnitt 4. Dieser Widerspruch ist ein Indiz für die nur unzureichende Positionierung und die zu geringen Vorspannung der Abstreiferstirnplatte.

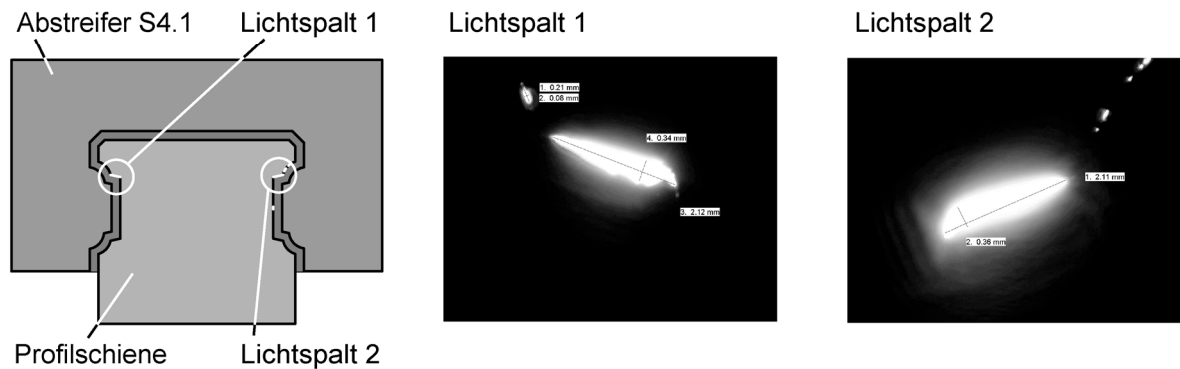


Bild 88: Durchlichtaufnahme Abstreiferstirnplatte S4.1

6.2 Reibkraftmessungen

Die Messung der Reibkräfte gibt nicht nur Auskunft über deren Größe, sie zeigt auch die Abhängigkeit der Kräfte von Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit. Aus diesen Messungen können wichtige Aussagen zu Profilstabilität und Stick-Slip abgeleitet werden.

6.2.1 Trockenreibung

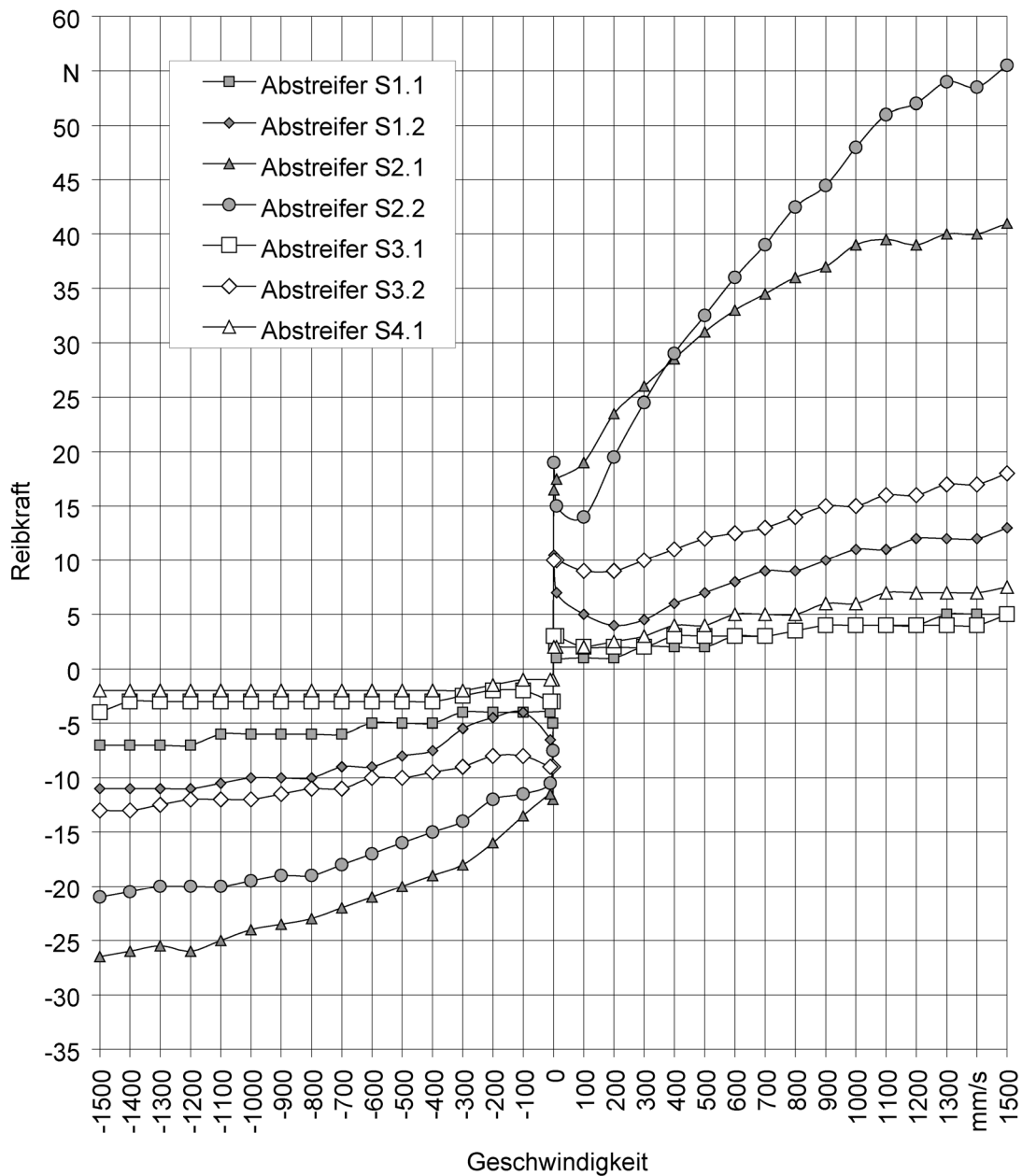


Bild 89: Reibkräfte bei Trockenreibung I

Die Trockenreibungs-Untersuchungen zeigen die Tauglichkeit der Abstreifer bei sehr schlechten Schmierungsbedingungen, wie sie nur in Ausnahmefällen an realen Werkzeugmaschinen-Führungen vorkommen sollten.

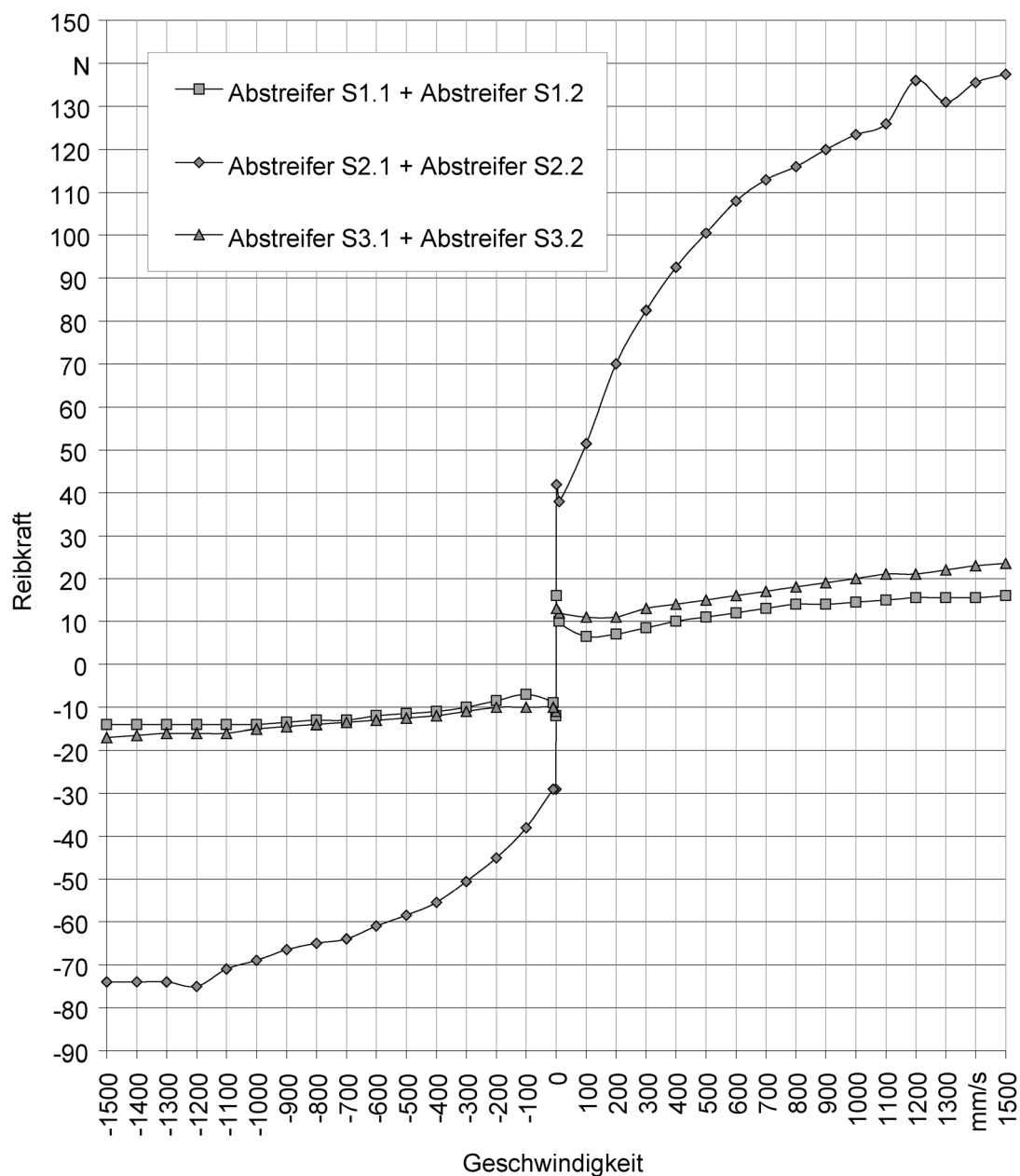


Bild 90: Reibkräfte bei Trockenreibung II

Von den sieben untersuchten Abstreiferstirnplatten war keine bei Trockenreibung instabil. Stick-Slip oder Reibschwingung traten nicht auf. Die Reibkräfte waren im allgemeinen sehr gering. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Bild 89 dargestellt. Die Höhe der gemessenen Reibkraft wird in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung aufgetragen.

Bei Abstreiferstirnplatte S1.1 führt die geringe Vorspannung der Dichtlippe zu sehr kleinen Reibkräften. Sowohl bei der schmierstoffabstreifenden Bewegung ($-1500 < v < 0$ mm/s), als auch bei der schmutzabstreifenden Bewegung ($0 < v < 1500$ mm/s) ist die Reibkraft abhängig von der Geschwindigkeit. Die Reibkräfte der Abstreiferstirn-

platte S1.2 sind erwartungsgemäß etwas größer, da die Abstreiferstirnplatte über größere Teile der Gegenfläche anliegt. Die Reibkräfte nehmen gleichmäßig mit der Geschwindigkeit zu. Die Abstreifer der Schiene 2 wiesen bei der Untersuchung die größten Reibkräfte auf. Die Reibkraft ist bei beiden Abstreiferstirnplatten abhängig von der Geschwindigkeit. Die Reibung ist bei schmutzabstreifenden Hübten größer. Die Dichtlippen verstemmen sich beim schmutzabstreifenden Hub. Abstreiferstirnplatte S3.1 hat sehr kleine Reibkräfte aufgrund der geringen Vorspannung. Während beim schmutzabstreifenden Hub die Reibkraft von der Geschwindigkeit abhängt, ist sie beim schmierstoffabstreifenden Hub nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit. Bei Abstreiferstirnplatte S3.2 sind die Reibkräfte beim schmutzabstreifenden Hub größer. In beiden Richtungen ist die Reibkraft abhängig von der Geschwindigkeit. Auch bei Abstreiferstirnplatte S4.1 entwickeln sich nur geringe Reibkräfte. Diese sind beim schmierstoffabstreifenden Hub nahezu unabhängig von der Geschwindigkeit. Beim schmutzabstreifenden Hub sind die Kräfte größer und nehmen gleichmäßig mit der Geschwindigkeit zu.

Die Abstreiferstirnplatten S1.1, S1.2, S2.1, S2.2, S3.1 und S3.2 werden bei starker Verschmutzung jeweils gemeinsam eingesetzt. Bild 90 zeigt die Reibkräfte dieser Abstreiferkombinationen. Beim Vergleich mit den entsprechenden Einzelmessungen fallen keine Besonderheiten auf. Bei der Kombination der Stirnplatten S1.1 und S1.2 sowie S3.1 und S3.2 addieren sich die Reibkräfte lediglich. Auch der Reibkraftverlauf der Kombination von Abstreiferstirnplatte S2.1 und S2.2 erinnert im Wesentlichen an die beiden Einzelmessungen. Die Reibkräfte sind aber erkennbar größer als die Summe der Einzelkräfte.

6.2.2 Nassreibung und Beurteilung der Schmierstoffleckage

Die Nassreibungs-Untersuchungen entsprechen eher den Gegebenheiten in der realen Werkzeugmaschinen-Führung. Die Bedingungen sind tribologisch günstig. Dazu wird die Dichtung mit FVA-Referenzöl (ISO VG 68) beaufschlagt. Im Vergleich zur Trockenreibung sind die Reibkräfte noch kleiner. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Bild 91 dargestellt. Die Höhe der gemessenen Reibkraft wird in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung aufgetragen. Die Reibung spiegelt hier die Schmierungsverhältnisse wider. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten herrscht der Festkörperkontakt zwischen Dichtlippe und abzustreifender Fläche vor. Der Schmierfilm reicht nicht aus, um die Reibpartner völlig zu trennen. Die Reibung ist dementsprechend hoch. Mit zunehmender Geschwindigkeit verbessern sich die Schmierungsverhältnisse. Die Reibpartner werden durch einen Schmierfilm mehr und mehr getrennt und die Reibung erreicht ihr Minimum. Bei allen untersuchten Stirnplatten hat die Geschwindigkeit nur noch geringen bzw. keinen Einfluss mehr auf die Reibkraft sobald die Reibpartner durch den vollständig Schmierfilm getrennt sind. Während bei der Trockenreibung beim schmutzabstreifenden Hub für gewöhnlich die größeren Reibkräfte gemessen worden sind ist dies im geschmierten Zustand nicht immer der Fall.

Die Abstreiferstirnplatten S1.1 und S4.1 hinterließen beim schmierstoffabstreifenden Hub einen deutlich sichtbaren Schmierfilm zurück. Die Abstreiferstirnplatten S2.1 und S2.2 hinterließen beim schmierstoffabstreifenden Hub eine ölige, schwärzlich eingefärbte Oberfläche. Das weist auf einen Abrieb des Dichtungsprofils hin.

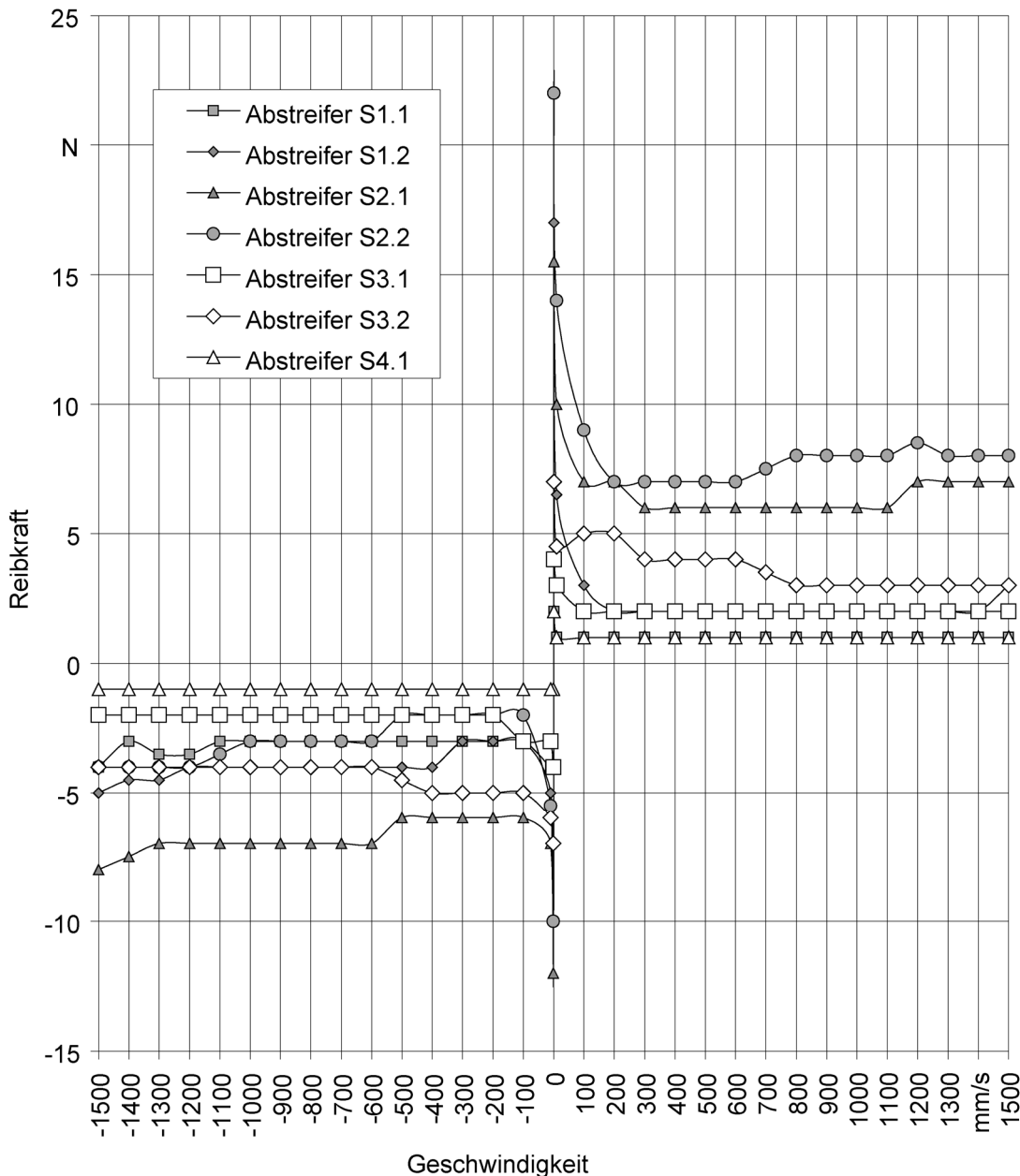


Bild 91: Reibkräfte bei Nassreibung I

Bild 92 zeigt die Reibkräfte der Abstreiferkombinationen bei Nassreibung. Beim Vergleich mit den entsprechenden Einzelmessungen fallen keine Besonderheiten auf. Die Reibkräfte addieren sich lediglich.

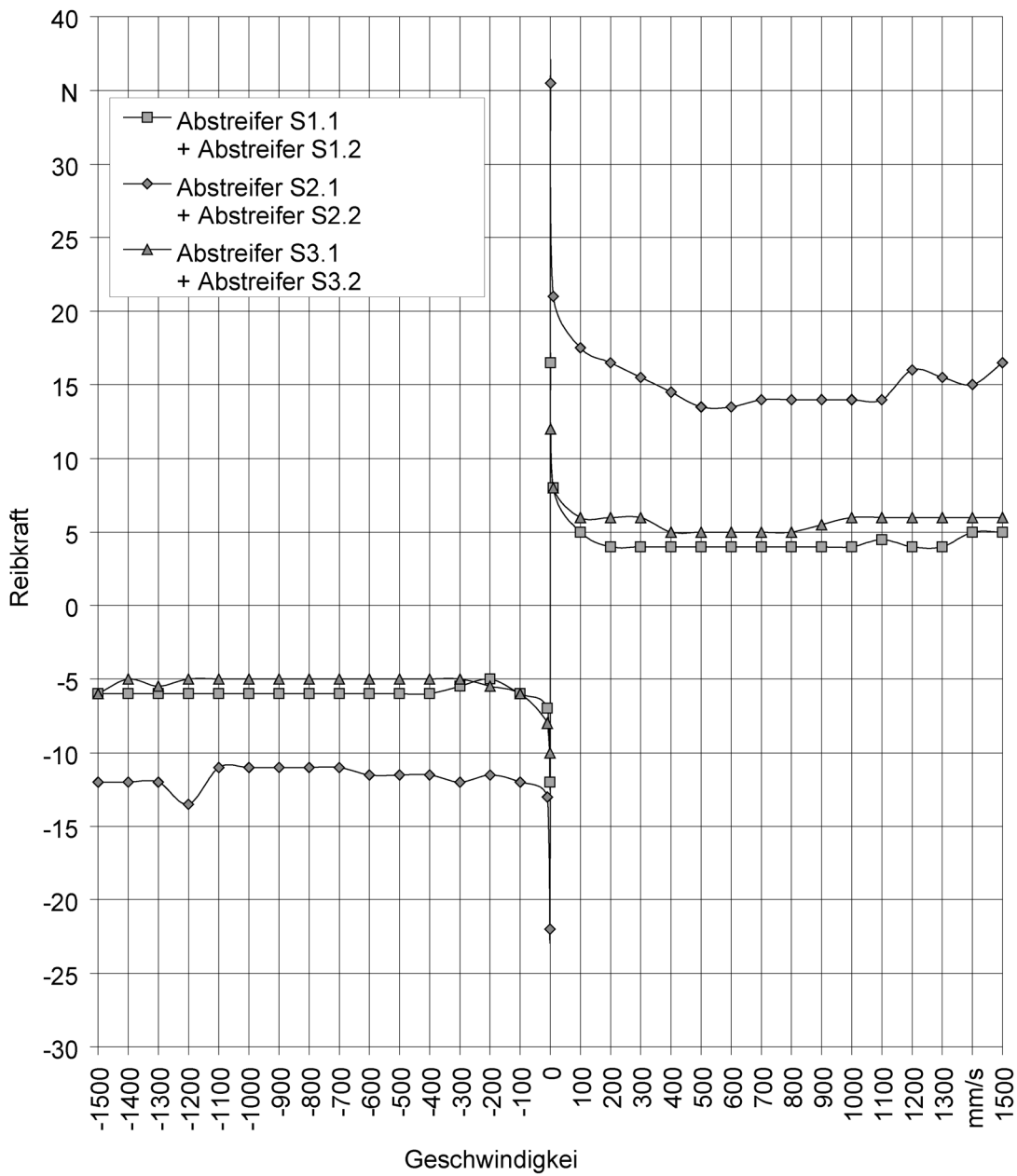


Bild 92: Reibkräfte bei Nassreibung II

Die abschließende Bewertung der Leckage der einzelnen Abstreiferstirplatten und der Kombinationen zeigt auf den ersten Blick gute bis zufriedenstellende Ergebnisse.

Tabelle 9: Bewertung der Leckage

	S1.1	S1.2	S1.1+S1.2	S2.1	S2.2	S2.1+S2.2	S3.1	S3.2	S3.1+S3.2	S4.1
Note	0	+	+	+	0	+	+	0	+	---

Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass bei den Abstreiferstirnplatten ein gut sichtbarer und somit auch vergleichsweise dicker Schmierfilm aus dem System heraus- und wieder hereingeschleppt wird. Würde dieser Schmierfilm durch andere Fremdflüssigkeiten weggespült werden, wäre der Schmierstoffverlust groß.

6.3 Untersuchungen zum Feststoffeintrag

Mit dem in Kapitel 3 beschriebenen Versuchsprogramm zur Untersuchung des Feststoffeintrags an Abstreiferstirnplatten für Profilschienenführungen lässt sich eine qualitativ gute Aussage über die Menge von Partikeln treffen, die in das System eingetragen werden. Für eine Analyse der Eintragsmechanismen reicht es allerdings nicht aus, die Dichtung von der Saubenseite aus zu betrachten. Deshalb werden für die Untersuchungen zum Feststoffeintrag auch die Profilschnitte mit Gegenfläche betrachtet.

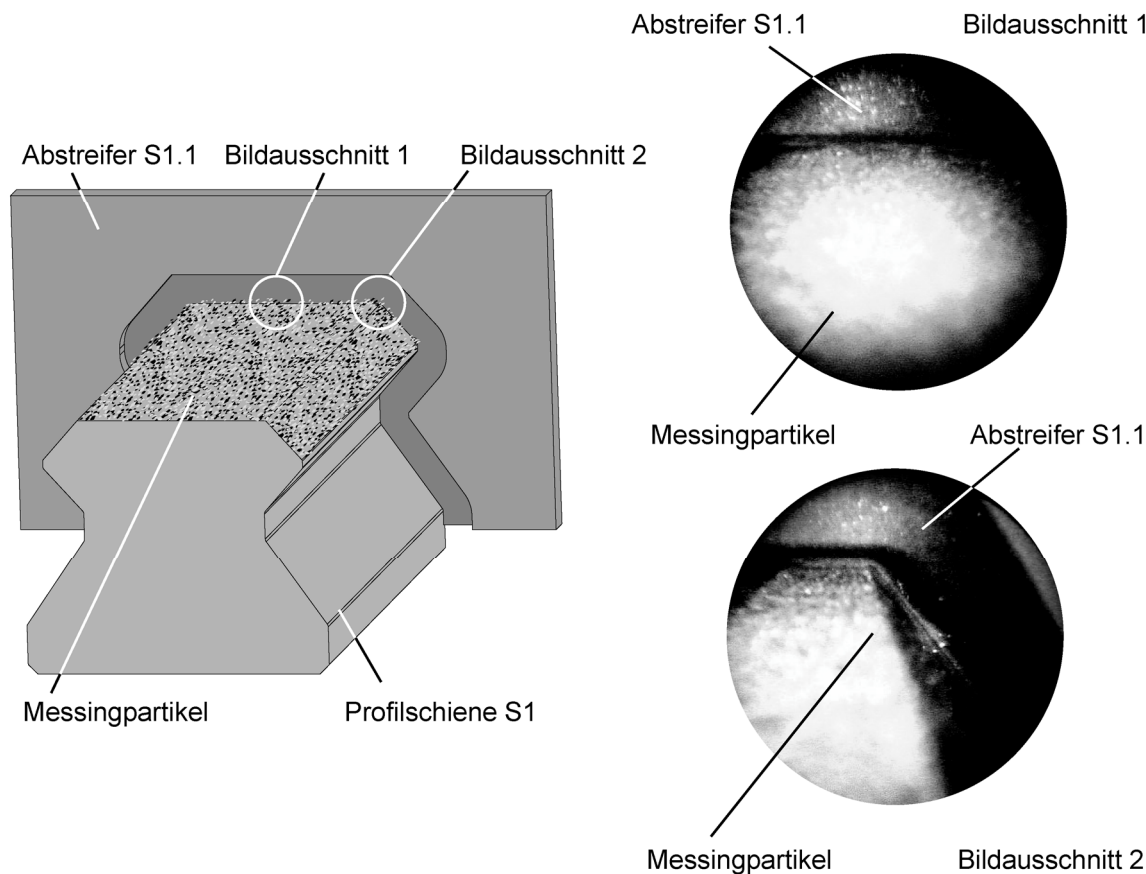


Bild 93: Abstreiferstirnplatte S1.1 und S1.2 bei Versuchsende

Für die Feststoffbeaufschlagung wurden die Abstreiferstirnplatten S1.1 und S1.2 gemäß Herstellerangaben gemeinsam montiert. Schon nach einer relativ kurzen Laufzeit bei kleinen Geschwindigkeiten waren Messingpartikel hinter der Dichtlippe zu erken-

nen. Bei Versuchsende, nach über 800 Hübem mit Feststoffbeaufschlagung, waren alle Flächen hinter dem Abstreifer, also auch im Wälzbereich der Führung, von einer Partikelschicht bedeckt. Feststoffpartikel sind ungehindert in den Wälzbereich der Führung eingedrungen, Bild 93. Die Größe des Feststoffeintrags lässt sich sehr gut mit den in Bild 65 bis Bild 68 dargestellten Kontaktbedingungen der Abstreiferstirnplatten in Einklang bringen. Abstreiferstirnplatte S1.1 hat nur eingeschränkt Kontakt mit der Gegenfläche, die Vorspannung der Dichtlippen ist äußerst gering. Abstreiferstirnplatte S1.2 berührt zwar die Gegenfläche fast über deren gesamtes Profil, die Dichtlippe bildet aber schmutzseitig deutliche Keilspalte aus.

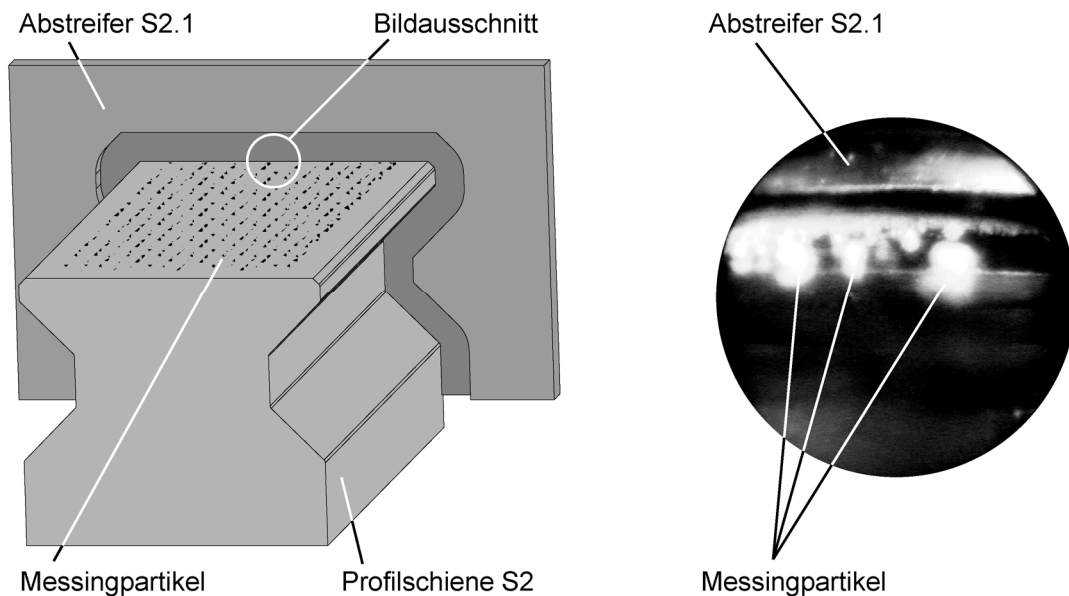


Bild 94: Abstreiferstirnplatte S2.1 und S2.2 bei Versuchsende

Entsprechend den Herstellerangaben für den Einsatz bei starker Verschmutzung, wurden die Abstreiferstirnplatten S2.1 und S2.2 in Kombination eingebaut. Beim Versuch ließen sich erst bei der Geschwindigkeit 100 mm/s Partikel hinter der Dichtkante erkennen. Unter der Dichtung hindurch wurde ein Partikelbelag über die gesamte Breite der ebenen Fläche in den Dichtraum hinein- und teilweise auch wieder hinausgeschleppt. Den Grund dafür zeigen Bild 71 bis Bild 75. Die Dichtlippen der Abstreiferstirnplatte S2.1 sind im ebenen Bereich der Führung etwas zurückgenommen. Der Abstreifer hat an dieser Stelle keinen Kontakt mit der Gegenfläche und streift somit auch nicht ab. Die Profilschnitte der Abstreiferstirnplatte S2.2 stellen die ungenügende Positionierung der Stirnplatte dar. Bereiche, in denen der Abstreifer vorgespannt ist und die Profilschiene berührt sind ebenso vorhanden, wie Bereiche in denen die Dichtlippe gerade noch Kontakt mit der Gegenfläche hat und zudem nur auf einem Formfehler aufliegt. Nach 200 Hübem mit der Geschwindigkeit 500 mm/s wurde der Versuch zum Schutz des Versuchsaufbaus abgebrochen, da zu viele Messingpartikel in den Bereich der Führung eingedrungen sind. Bild 94 stellt das Ergebnis der Untersuchung bei Versuchabbruch dar.

Bild 95 stellt die Versuchsergebnisse der Profilschiene 3 dar. Die Abstreiferstirnplatten S3.1 und S3.2 wurden in Kombination eingebaut. Schon bei den ersten Hügen zeigten sich Partikel auf der ebenen Fläche der Profilschiene. Die Anzahl der Partikel, die sich über der ebenen Fläche verteilten, wurde mit zunehmender Hubzahl immer größer. Der Verdacht liegt nahe, dass diese Partikel unabgestreift in den Dichtraum gelangen. Auch diese Beobachtung deckt sich wieder mit den Profilschnitten und Durchlichtaufnahmen der beiden Abstreiferstirnplatten, die in Bild 78 bis Bild 82 dargestellt sind. Die Durchlichtaufnahmen weisen für beide Abstreiferstirnplatten deutlich sichtbare Spalte auf, genau in den Bereichen, die bei der Versuchsdurchführung beobachtet wurden. Auch die Profilschnitte selber zeigen das beide Dichtlippen ohne Vorspannung an der Profilschiene anliegen.

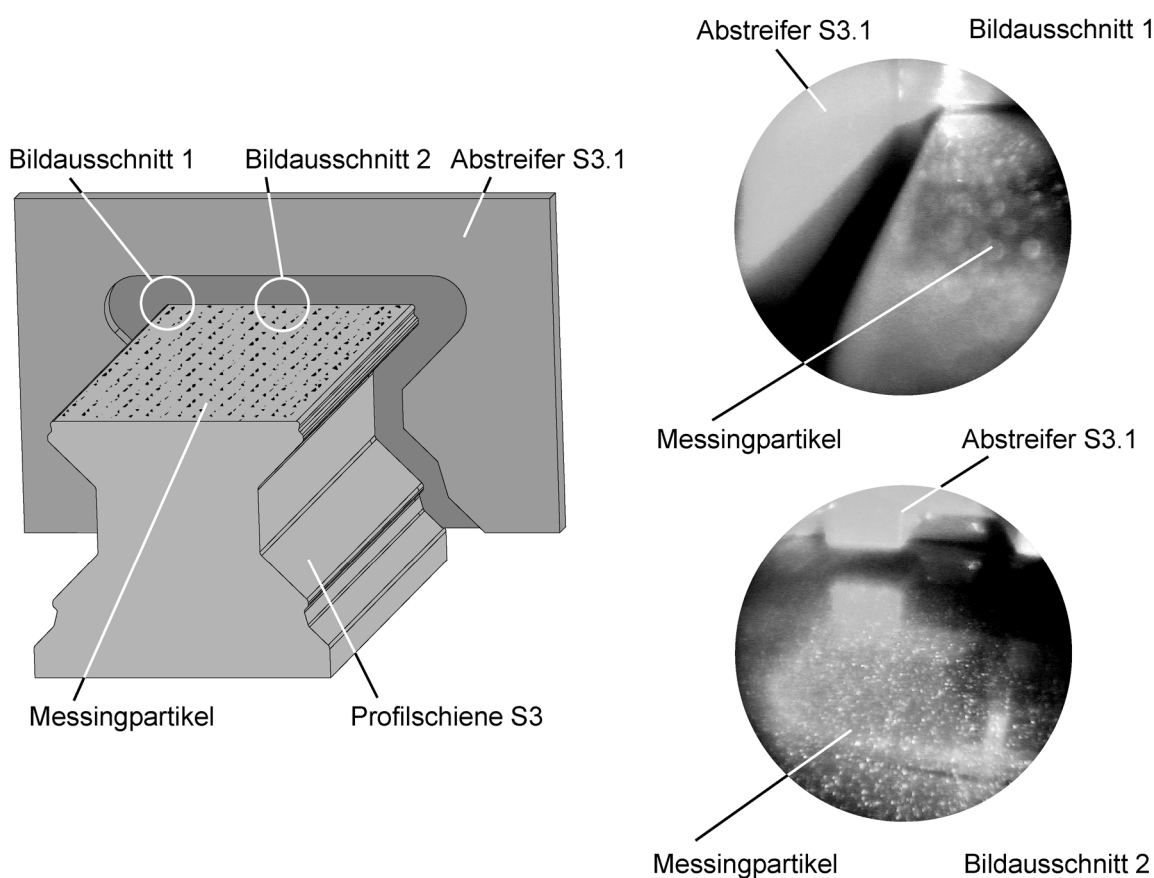


Bild 95: Abstreiferstirnplatte S3.1 und S3.2 bei Versuchsende

Wie zu Beginn des Kapitels schon erwähnt, handelt es sich bei der Schiene 4 um eine Kugelrollenführung die von oben mit der Tischfläche des Prüfstandes verschraubt wurde. Für die Verschmutzungsuntersuchungen der Schiene 4 wurden die Bohrlöcher der Befestigung mit den mitgelieferten Verschlussstopfen geschlossen. Untersucht wurde die Abstreiferstirnplatte S4.1. Bild 96 stellt der Ergebnisse der Untersuchung dar. Schon bei kleinen Geschwindigkeit wurden Partikel unter der Dichtkante hindurchgeschleppt. Ein Grund dafür sind die Verschlussstopfen. Durch die angefasten

Verschlussstopfen und der Bohrung mit scharfen Grat entsteht eine Nut. Durch diese Nuten wurden sehr viele Feststoffpartikel unter der Dichtung hindurchgeschleppt. Auch in die Laufbahn der Kugelführung sind Feststoffpartikel eingedrungen. Die Profilschnitte und Durchlichtaufnahme in Bild 84 bis Bild 88 zeigen, dass die Stirnplatte nicht immer richtig anliegt. Im Bereich über der Lauffläche befindet sich eine senkrechte Fläche mit wesentlich rauerer Oberflächeneigenschaften. Über diese Fläche gelangt ein Großteil der Messingpartikel in den Bereich der Führung. Der Versuch wurde nach 400 Hüben mit einer Geschwindigkeit von 1000 mm/s abgebrochen, um den Prüfstand vor Beschädigung zu schützen.

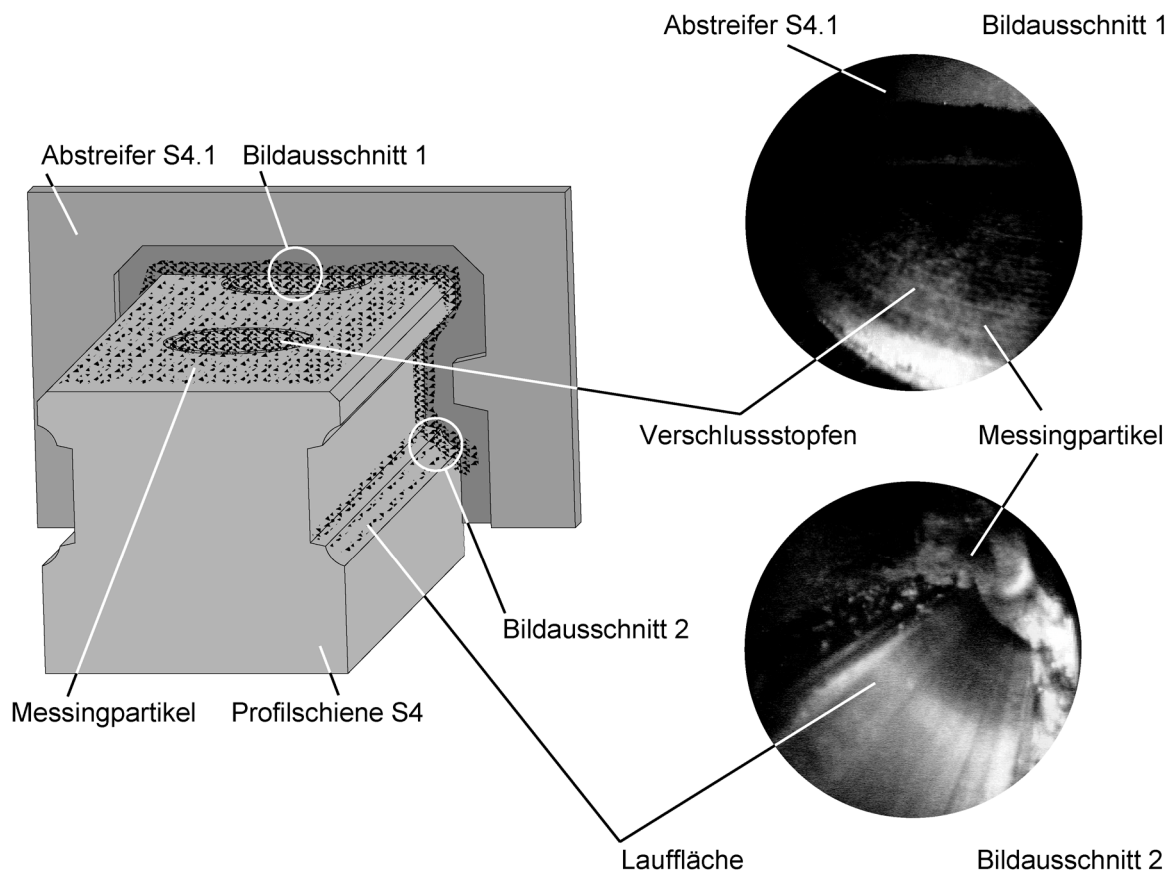


Bild 96: Abstreiferstirnplatte S4.1 bei Versuchsende

6.4 Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen an handelsüblichen Abstreiferstirnplatten haben zu folgenden Erkenntnissen geführt:

Alle untersuchten Abstreiferstirnplatten weisen Bereiche auf, in denen sie gar nicht oder nicht richtig aufliegen. Teilweise sind diese Bereiche relativ groß im Vergleich zum gesamten abzudichtendem Führungsquerschnitt.

- Die Abstreiferstirnplatten müssen ausreichend positioniert werden die Dichtlippen müssen einen ausreichend großen Vorspannweg aufweisen.

Viele Dichtkanten sind mangelhaft hergestellt, weisen Formaustriebe auf oder sind nicht richtig abgeformt. Aus vorausgegangen Untersuchungen weiß man, dass solche Profilfehler verantwortlich sind für Schmierstoffaustrag und Schmutzeintrag, /24/.

- Profilfehler an Abstreifern wie Grate, Formaustrieb und Oberflächenfehler sind an den funktionsbestimmenden Oberflächen der Dichtlippen zu vermeiden.

Fast alle der untersuchten Abstreiferstirnplatten erzeugen sehr geringe Reibung. Dem Wunsch nach geringen Verschiebekräften wird zum Nachteil der Dichteigenschaften nachgegeben.

- Große Pressungsgradienten und die notwendigen Vorspannwege bedingen ein unvermeidbares Maß an Reibung. Eine sinnvolle Abdichtung unter extremen Bedingungen ist ohne den Preis erhöhter Reibung nicht zu erreichen.

Die Abstreifer haben größtenteils gute oder zufriedenstellende Leckagewerte. Schleppen aber mehr oder weniger dicke Schmierfilme ein und aus. Fremdflüssigkeiten wie z.B. Kühlschmierstoffe werden den herausgeschleppten Schmierstoff wegsülen und in das System eindringen.

- Damit der Austausch von Flüssigkeit minimal ist, müssen die Gradienten der Dichtlippen möglichst groß sein.

Der Einfluss von „Beschädigungen“ in der Gegenlauffläche (Bohrungen, Verschlussstopfen) trägt sehr zum Feststoffeintrag bei.

- Auch die abzustreifende Profilschiene gehört zum Dichtsystem Beschädigungen der Gegenlaufflächen sind unbedingt zu vermeiden. Aus dichtungstechnischer Sicht sind Profilschienen ideal, die von unten verschraubt werden.